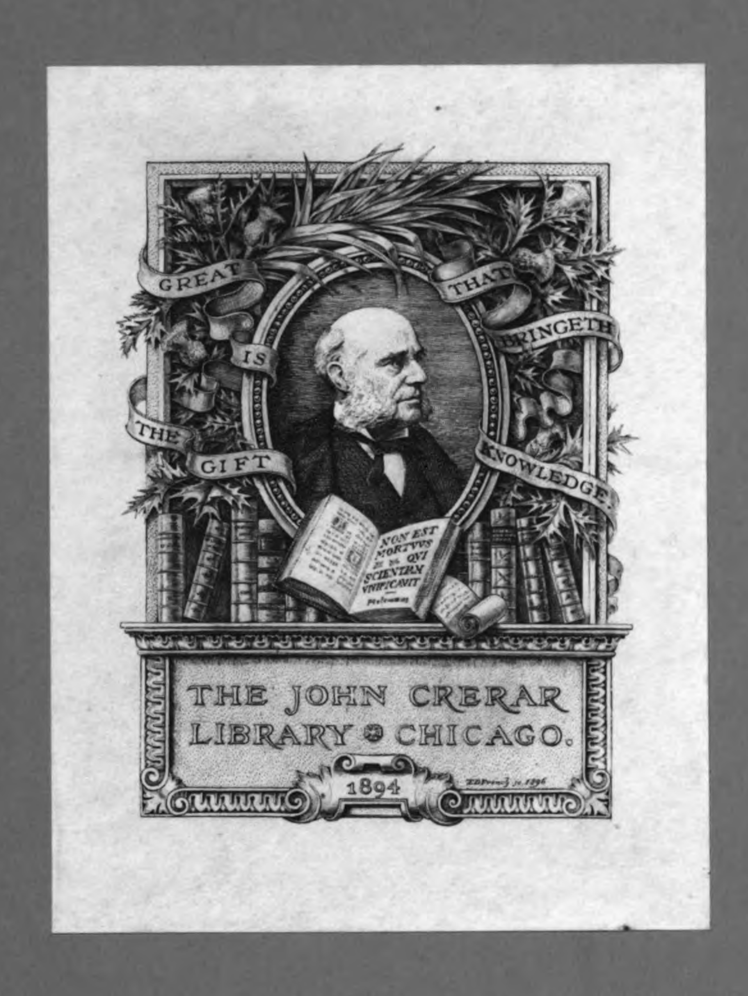
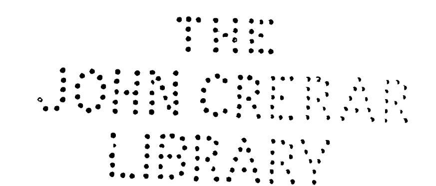



GREAT
IS
THE
GIFT
THAT
BRINGETH
KNOWLEDGE
NON EST
MORTVVS
QVI
SCIENTIAM
VIVIFICAVIT
THE JOHN CRERAR
LIBRARY CHICAGO.
1894



Das Weltgebäude.



Das Weltgebäude.

Eine gemeinverständliche Himmelskunde

von

M. Wilhelm Meyer.

Mit 291 Abbildungen im Text, 9 Karten und 34 Tafeln
in Farbendruck, Ätzung und Holzschnitt.

Zweite, umgearbeitete Auflage.



Leipzig und Wien
Bibliographisches Institut
1908.



Aus dem Vorwort zur ersten Auflage.

Das vorliegende Werk unterscheidet sich in mancher Hinsicht von den bisher erschienenen gemeinverständlichen Himmelsbeschreibungen. Ich habe es versucht, ohne Anwendung eines wissenschaftlichen Apparates dem Leser die Tatsächlichkeit der darzustellenden Forschungsergebnisse wahrscheinlich zu machen, wenn der strenge Beweis nicht durchzuführen war. Gerade auf dem Gebiete der Himmelskunde wurde eine derartige Behandlungsweise von weiteren Leserkreisen um so lebhafter gewünscht, als die astronomischen Erkenntnisse sich deren Denkkontrolle fast ganz entzogen. Man hatte schlechtweg für recht zu nehmen, was die Sternkundigen behaupteten. So konnte sich kein Wissen, sondern nur ein Glaube an diese höchsten Triumphe menschlicher Denkarbeit bilden, der oft genug einem inneren Mißtrauen Raum gab.

Die natürliche Ursache dieses Übelstandes ist die Notwendigkeit der Anwendung höherer mathematischer Hilfsmittel für die Forschungsmethoden der Astronomie, Hilfsmittel, die der allgemein Gebildete nur in den seltensten Fällen zu benutzen vermag. Da aber die mathematische Analyse im Grunde weiter nichts ist als ein unsere Denkarbeit erleichternder Apparat, so ist es zweifellos, daß man alle dadurch gesammelten Ergebnisse des Denkens auch ohne ihn darstellen kann. Nur wird die Denkarbeit dann meist viel verwickelter. Wo aber die Übersetzung der mathematischen Denkweise in die des gewöhnlichen Lebens ohne große Umwege möglich war, wurden hier von Schluß auf Schluß jene Gedankenreihen verfolgt, die zu den erhabenen Anschauungen von der Größe und Einheitlichkeit des Weltgebäudes geführt haben.

Auch in dem rein beschreibenden Teile bin ich von dem Grundsatz ausgegangen, zunächst an den unzweifelhaften Augenschein der durch Beobachtung ermittelten Tatsachen anzuknüpfen, ohne Voraussetzungen zu machen, dann aus dem Augenschein heraus die Ursache, den Zusammenhang der Erscheinungen klarzustellen. Nach diesem Gesichtspunkt ist das ganze Werk angelegt.

In dieser Absicht, mehr die leitenden Gedanken der Forschung zu entwickeln, als die Gegenstände zu beschreiben, mußte der Klarheit wegen auf Vollständigkeit verzichtet werden. Es sollte nur ein möglichst einheitliches Bild dem allgemeinen Verständnis vorgeführt werden, das deshalb in einzelnen Teilen nur kräftige, mehr skizzenhafte Umrisse zeigen konnte.

Mußte ich zwar auf Vollständigkeit verzichten, so war ich doch bemüht, bei der Auswahl dasjenige zu treffen, was von den neuesten Ergebnissen am sichersten ergründet und am wertvollsten für die Darstellung des allgemeinen Weltgemäldes ist. Hypothetisches und Umstrittenes wurde nach Möglichkeit vermieden.

Dem Grundsatz, Hypothetisches zu vermeiden, bin ich jedoch in einer eigenen Sache selbst nicht treu geblieben: in dem letzten Kapitel über die „Entwickelungsgeschichte des Weltgebäudes". Ich unterbreite die darin ausgesprochene Idee, die der tieferen Durchführung noch bedarf, der wohlwollenden Beachtung der Fachmänner.

Berlin, im November 1897.

M. Wilhelm Meyer.

Vorwort zur zweiten Auflage.

In dem Jahrzehnt, das verflossen ist, seit dieses Werk zum erstenmal erschien, hat die Himmelsforschung so bedeutende Fortschritte gezeitigt, daß die vorliegende neue Bearbeitung fast in jedem Kapitel wesentliche Hinzufügungen erfahren mußte. Ganz besonders hat die Himmelsphotographie unsern Blick in die Fernen des Weltgebäudes so sehr erweitert und verschärft, daß dadurch für seine Einrichtung manche neue Gesichtspunkte eröffnet wurden. Es sind deshalb dem Werke viele neue himmelsphotographische Aufnahmen hinzugefügt worden, die ich namentlich wieder der Liebenswürdigkeit der Direktion der Yerkes-Sternwarte, der Sternwarte des Harvard College in Cambridge (N. A.) und des Herrn Professor M. Wolf vom astrophysikalischen Observatorium in Heidelberg verdanke. Es befinden sich darunter vorher unveröffentlichte Aufnahmen neuen Datums.

Um von den übrigen neu hinzugekommenen Gegenständen nur einige der wichtigsten herauszugreifen, erwähne ich aus dem Gebiete des Sonnensystems zunächst die neuen Satelliten des Jupiter und Saturn, deren eigentümliche Bahnverhältnisse ebenso wie die des erdnahen kleinen Planeten Eros und der drei bisher bekannt gewordenen jupiternahen Hektor, Achilles und Patroklus das Bild der Konstitution unseres Systems verändern. Auch unsere Ansichten über die Beschaffenheit der Sonne haben sich in neuerer Zeit weiter geklärt. Im Gebiete der Fixsternwelt hat das Erscheinen des neuen Sterns im Perseus unsere Anschauungen nicht nur über das Wesen dieser Art von Himmelskörper, sondern auch über Werden und Vergehen der Weltkörper überhaupt bedeutend erweitert. Namentlich aber hat die Erforschung des großen Milchstraßensystems einerseits durch die photographischen Aufnahmen direkt, anderseits durch mühevolle und scharfsinnige Untersuchungen über Verteilung, Bewegung und spektroskopisches Verhalten der Sterne ganz wesentlich klärende Ansichten über die Ordnung des den Bereich unserer Wissensmöglichkeit umfassenden Weltgebäudes der Milchstraße erschlossen.

Um angesichts aller dieser Erweiterungen unserer Erkenntnis, denen ich soweit als möglich bis auf die neueste Zeit Rechnung getragen habe, doch den Umfang des Werkes nicht allzusehr zu vergrößern, habe ich mich, wie ich glaube, keineswegs zu seinem Schaden, entschlossen, die Betrachtungen über allgemeine für die Himmelsforschung in Betracht kommende Eigenschaften des Lichtes, der Photographie, der Spektralanalyse u. s. w. etwas zu kürzen, auch um schneller zur Hauptsache übergehen zu können. Ich konnte dies um so eher tun, als inzwischen im gleichen Verlage als weiterer Band der großen Naturkunde ein Werk von mir erschienen ist, das sich die Aufgabe stellt, diese physikalischen Prinzipien gemeinverständlich zu entwickeln: Die Naturkräfte, ein Weltbild der physikalischen und chemischen Erscheinungen.

Daß die Verlagshandlung wieder keine Kosten und Mühe gescheut hat, das Werk auf das gediegendste auszustatten, bedarf kaum der Erwähnung, da es offenkundig ist. Ich bin ihr aber noch zu ganz besonderem Danke verpflichtet wegen der außerordentlichen Sorgfalt und dem großen Verständnis, mit denen mich ihre Redaktion bei meiner Arbeit unterstützt hat, auch indem sie mich auf eine Reihe von Unklarheiten hinwies, die der Darstellung in der ersten Auflage noch anhafteten.

Küsnacht bei Zürich, Neujahr 1908.

M. Wilhelm Meyer.



Inhalts-Verzeichnis.

Einleitung.

I. Beschreibung der Himmelskörper.

II. Die Bewegungen der Himmelskörper.

Verzeichnis der Abbildungen.

Farbendrucktafeln.

Kartenbeilagen.

Schwarze Tafeln.

Illustrationen im Text.

Einleitung.

1. Inhalt und Bedeutung der Astronomie.

Vor Kopernikus hatten innerhalb des europäischen Kulturgebietes wohl nur wenige hervorragendere Geister über die Beziehungen unserer irdischen Welt zu den Sternen über uns nachgedacht, wenigstens nicht mehr, seit nach dem Verblühen der ägyptischen und griechischen Kultur die Verehrung der Gestirne oder doch ihre Verwendung zur Vorausbestimmung religiöser Feste nicht mehr zum landesüblichen Kultus gehörte.

In den früheren Entwickelungsstadien des Menschengeistes zwar und dementsprechend auch heute bei den geistig zurückgebliebenen Stämmen der Naturvölker spielten und spielen die Gestirne eine ganz hervorragende Rolle. Es ist Tatsache, daß ein Buschmann, ein gar armseliges Geschöpf, das nicht imstande ist, sich eine Hütte zu bauen, sich unter den Sternen besser auskennt als Hunderttausende unserer gebildetsten Großstädter. Die Buschmänner haben besondere Namen für gewisse Sternbilder, sie unterscheiden die Planeten von den Fixsternen u. s. w. Vielleicht ist der fortwährende Aufenthalt im Freien, die Notwendigkeit, sich durch die Himmelserscheinungen nach Zeit und Richtung zu orientieren, die erste Ursache dieses Interesses der Naturvölker an der Sternenwelt gewesen, während die Bewohner großer Städte über den hohen Mauerzeilen der Straßen nur ein kärgliches Stückchen des ewigen Firmamentes sich ausspannen sehen, dessen Sterne kaum die dunstige Atmosphäre durchdringen und in dem Lichtermeere der Straßen fast gänzlich verschwinden. Die Welt der Welten kennt man heutzutage bei uns fast nur noch vom Hörensagen, dieselbe Welt, die ehedem die Menschen so tief im Innersten der Seele bewegte, wie es nur immer die Gedanken an das Allerhöchste vermögen.

Und wie man es damals ahnte, als man die Sterne noch mit den Gottheiten identifizierte, so haben auch heute noch jene Gewalten, die, von den Sternen ausstrahlend, die Welten des Universums regieren, den allertiefsten Einfluß auf unsere Geschicke. Aber wie der Gedankenlose den Einfluß der obersten Verwaltungsorgane des Staates nicht erkennt, weil er sie nicht unmittelbar fühlt, im Gegensatze mit den unbedeutenden, aber augenfälligen Wirkungen der ausführenden Gewalten, so übersieht die blinde Menschheit die über alle Beschreibung majestätischen Einwirkungen jener himmlischen Gesetzgebung, die uns alle umfängt, beschirmt, mit Wohltaten überhäuft.

Selbst die Sonne, deren lebenspendende Kraft noch am unmittelbarsten in die Augen springt, vergißt der Städter, obgleich er, ihm zwar längst unbewußt, sein ganzes



Tun nach dem schönen Rhythmus regelt, den sie allein durch Tag und Nacht und Sommer und Winter erzeugt. Nur der Landmann sieht wohl noch bisweilen dankbaren Sinnes hinauf zu der strahlenden Spenderin aller Freuden, deren wir gedankenlose Erdenbewohner dauernd teilhaftig werden.

Wie aber mag es wohl gekommen sein, daß dieses Interesse für die himmlischen Dinge im Laufe der Jahrhunderte so wesentliche Schwankungen durchgemacht hat? Die Entscheidung dieser Frage ist von Wichtigkeit, wenn wir uns klar darüber werden wollen, ob heute noch das Studium der Sternkunde so hohen allgemeinen Wert habe wie damals, als Religion und praktisches Leben die Gestirne uns näher gerückt hatten. Verfolgen wir zu diesem Zweck in kurzem Überblick die Ideen, welche die Menschheit in ihren verschiedenen Entwickelungsphasen mit den Gestirnen verbanden.

Wie die Menschen dazu kamen, die Gestirne göttlich zu verehren, ist leicht zu begreifen. Es war zu offenbar, daß unsichtbare Gewalten, deren Quelle über der irdischen Welt liegt, in das Geschehen der Dinge hier unten eingreifen; die Sonne aber und die übrigen Gestirne mußten zugleich als außerirdische, ungreifbare, vielleicht wesenlose Dinge erkannt werden. Sie wurden also zu etwas über dem Menschen Stehendem, zu seiner Gottheit. Die tausendfältige Abhängigkeit von den Geschehnissen dort oben am Himmel, die keine menschliche Macht zu lenken, abzuwenden oder herbeizuführen vermochte, lehrte den Menschen Furcht und Dankbarkeit empfinden gegenüber seiner Gottheit.

Und die Sonne mußte hier notwendig die erste Rolle spielen. Alles, was der kulturlose Mensch in seiner Hilflosigkeit empfand und unternahm, wurde von ihr beherrscht: sie weckte ihn am Morgen und lockte ihn aus seiner dumpfen Höhle ins Freie hinaus; sobald sie abends von ihrem Tagewerk ausruhte, erschlafften seine Glieder, und Furcht vor den unheimlichen Mächten der Dunkelheit trieb ihn zurück in die Höhle. Und wenn er nun, im Kreise der Familie um das Feuer gelagert, jenen so unendlich schwachen Abglanz der Strahlenfülle des Tages, erleuchtet von den ersten Funken der aufdämmernden Intelligenz, nachzudenken begann, wie alle diese Dinge wohl zugehen mögen, und ob jene himmlischen Wesen menschenähnlich, sterblich seien, da schossen die ersten Keime von Problemen auf, an deren Lösung die Menschheit ewig zu tun haben wird. Was in jenen ersten Anfängen der Menschheit, von denen wir keine Spur von historischer Überlieferung mehr besitzen, und die vielleicht um fünfzigtausend Jahre hinter unserer Zeit zurückliegen, über die Gestirne gedacht worden ist, läßt sich mit einiger Wahrscheinlichkeit wiederherstellen, wenn man die Meinungen und Sagen betrachtet, welche die Naturvölker unserer gegenwärtigen Zeit besitzen.

So heißt es in Ratzels „Völkerkunde" von den Buschmännern, die man mit als die armseligsten menschlichen Geschöpfe des gegenwärtigen Erdkreises anzusehen hat: „Eine gute Beobachtung der Vorgänge am Himmelszelte bezeugen nicht nur einige von ihren Märchen und Mythen, sondern auch ihre eigene Kenntnis der Sterne und die Namen, die sie ihnen geben. Von jenen heben wir die Geschichte von der Sonne hervor, die als Mann auf der Erde lebte und aus der Achselhöhle Licht ausstrahlte, das aber nur einem kleinen Raum um die Hütte zugute kam, weshalb von den ersten Buschmännern einige Kinder ausgesandt wurden, um sie in den Himmel zu werfen, woher sie seitdem allen scheint. Der Mond, der auch bei den Buschmännern männlichen Geschlechtes ist, erscheint als ein Mann, von dem die Sonne in ihrem Zorn mit dem Messer (ihren Strahlen) Stück

für Stück abschneidet, bis er bittet, sie möge doch noch ein bißchen für seine Kinder übriglassen; dieses bißchen wächst dann wieder, bis es Vollmond wird, um neuerdings von der Sonne beschnitten zu werden. Mit dem Monde wird auch der Ursprung des Todes in Verbindung gebracht."

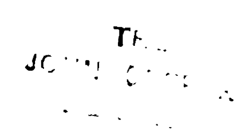
Letzteres tritt noch deutlicher in der ähnlichen Sage der Fidschianer hervor, die folgendermaßen wiedergegeben wird: „Sie lassen zwei Götter, Mond und Ratte, sich streiten, ob die Menschen sterblich sein sollten, wie der Mond, das heißt sterbend und wiederkehrend, oder wie die Ratten, das heißt einfach sterbend, nicht wiederkehrend. Da die Ratte siegte, sind nun die Menschen sterblich." „Bei den Hottentotten läßt der Mond durch seinen Boten, den Hasen, den Menschen sagen, daß sie gleich ihm vergehen und wiederkehren sollten. Der Hase richtet die Botschaft in dem entgegengesetzten Sinn aus, wofür der Mond ihn mit einem Stabe wirft, der ihm die Oberlippe schlitzt." „Von allen Sternen ist der Kanopus den Buschmännern am bekanntesten; sie haben fünf verschiedene Namen für ihn und haben auch Bildernamen für Sterngruppen. So nennen sie Orions Gürtel: drei Schildkrötenweibchen, an einem Stab aufgehangen; Kastor und Pollux: die Elenkühe; Prochon: das Elenmännchen; α, β und γ des Südlichen Kreuzes: die Löwinnen; die anderen Sterne desselben Bildes: Löwen; Magelhaens Wolke nennen sie Steinbock. Vom Ursprung der Sterne haben sie die Sage, daß ein Mädchen von dem früheren, den Buschmännern vorangehenden Volke Licht zu machen wünschte, damit die Leute ihren Weg nach Hause fänden; sie warf daher glühende Asche in den Himmel, und diese wurde zu Sternen."

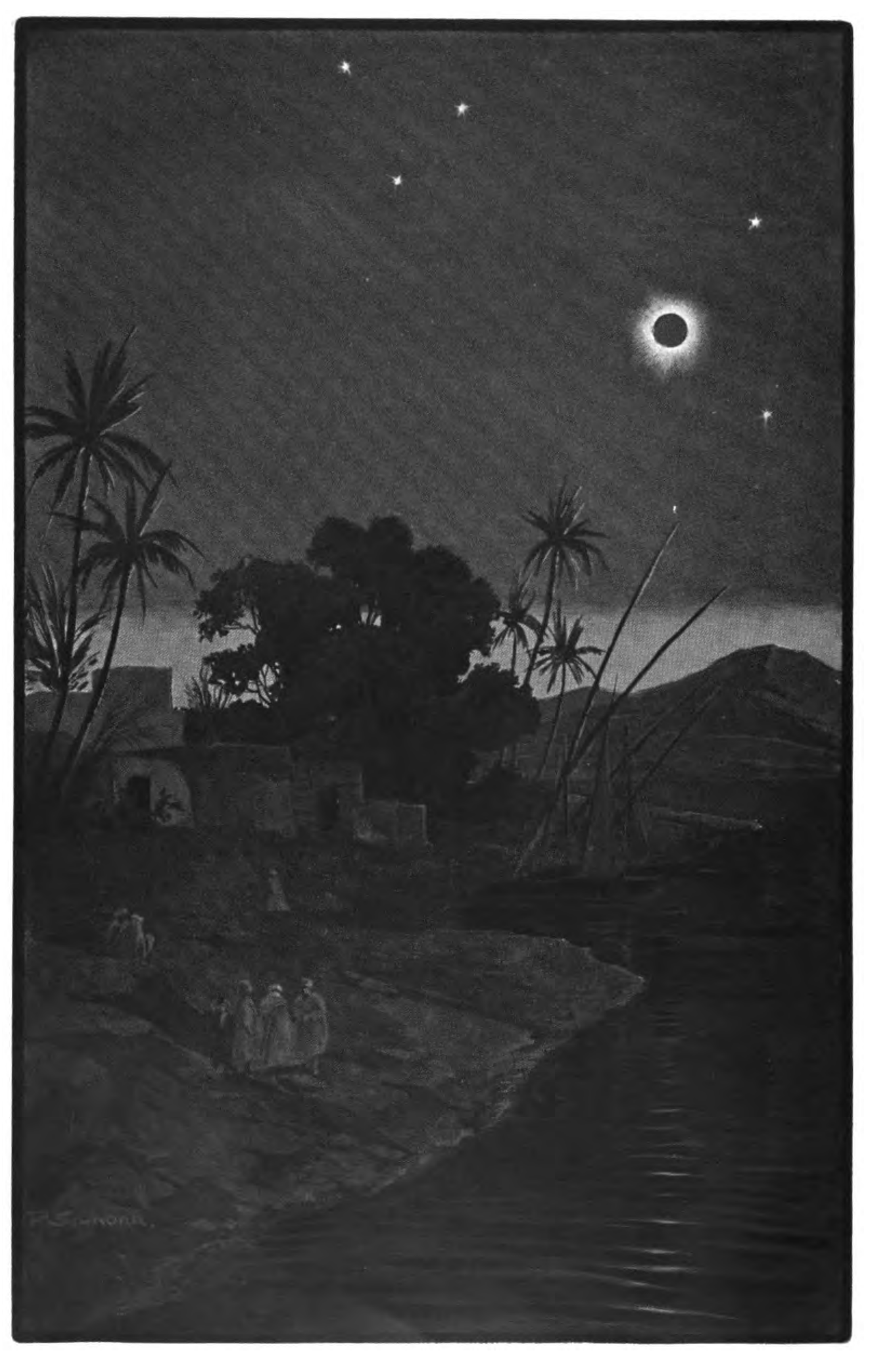
Von den Völkern in der Nähe der Nilquellseen wird folgende interessante Sage erzählt: „In uralter Zeit", sagen die Wanyoro, „waren der Menschen viel auf der Erde. Sie starben nie, sondern lebten ewig. Da sie aber übermütig wurden und keine Gaben darbrachten, ergrimmte der große Zauberer, der die Geschicke der Menschen lenkt, warf das ganze Himmelsgewölbe auf die Erde nieder und tötete sie alle. Um aber die Erde nicht verödet zu lassen, sandte der große Zauberer einen Mann und eine Frau ‚von oben' hernieder. Beide waren geschwänzt. Sie zeugten einen Sohn und zwei Töchter, die miteinander Umgang pflogen. Eine gebar ein ekelhaftes Tier, das Chamäleon, die andere einen Riesen, den Mond. Beide Kinder wuchsen auf; bald aber entstanden zwischen ihnen Streitigkeiten, denn das Chamäleon war böse und heimtückisch, und zuletzt nahm der große Zauberer den Mond hinauf, von wo er noch immer zur Erde herabschaut. Um jedoch an seine irdische Herkunft zu erinnern, wird er groß und leuchtend und nimmt dann ab, wie um zu sterben, stirbt aber nicht, sondern geht in zwei Tagen um den Horizont von Osten nach Westen und erscheint, müde von der Reise, klein am Westhimmel wieder. Die Sonne aber ergrimmte so heftig über ihren neuen Nebenbuhler und brannte ihn so stark, daß noch heute die Flecke in seinem Gesichte zu sehen sind. Das Chamäleon und seine Nachkommenschaft bevölkerte die Erde, die Schwänze gingen verloren, und die ursprünglich bleiche Hautfarbe ward unter der glühenden Sonne bald zur dunkeln. Auch heute noch sind die Himmelssphären von Leuten bewohnt, die geschwänzt sind und viele Herden haben. Die Sterne sind Wächter, welche der große Zauberer bei Nacht ausstellt. Die Sonne endlich ist von riesenhaften Leuten bewohnt. Als eines Abends Emin Bei nach dem Namen der gerade sehr hell am Himmel stehenden Venus fragte, antworteten ihm die Wanyoro: Geliebte des Mondes."

Wo wir uns auch sonst noch auf der Erde umsehen, begegnen wir bei den Naturvölkern dem Sonnen- und Sternenkultus, mit dem Fragen und Sagen über die Weltschöpfung, über den Tod und das Schicksal des Menschen nach seinem Hinscheiden eng verknüpft sind. Es kann kaum etwas Interessanteres geben, als hier zu verfolgen, wie sich in diesen naiven Gemütern das große Weltbild spiegelt, dessen wundervollen Bau wir im vorliegenden Werke zu entwickeln haben werden, so, wie ihn sich das vorgeschrittenste Wissen der Menschheit vorstellt. Es mögen deshalb hier noch die Sagen zweier Völkergebiete Platz finden. Von den nordamerikanischen Indianern erzählt Ratzel:

„Die drei Schöpfungselemente Erde, Wasser und Feuer treten als die starken Grundlinien hervor. Das Wasser ist das Überwiegende, die Erde ist nur eine Insel in demselben, der Himmel und die Sonne sind vor beiden vorhanden, und die Sonne bringt vom Himmel oder mit Erlaubnis des Himmels das Feuer auf die Insel Erde herab. Deutlicher noch spricht dies die Schöpfungssage der Haseninidianer aus: Der Vater wohnt im Zenith, die Mutter im Nadir, der Sohn eilt am Himmel zwischen beiden hin und her. Als er so eines Tages umherwanderte, bemerkte er die Erde. Zu seinem Vater zurückgekehrt, sang er ihn folgendermaßen an: ‚O mein Vater in der Höhe, zünde doch dein himmlisches Feuer an, denn auf dieser kleinen Insel (Erde) sind seit langem meine Brüder schon unglücklich. Siehe sie an, mein Vater, habe Mitleid mit den Menschen!‘ Pinart bezeichnet als ‚Grunddogma‘ des aleutischen Glaubens die Anbetung der Sonne und des Mondes, welcher als Bruder der Sonne, jene als Schwester dargestellt wird. Sie entbrannten in Liebe zueinander, wurden getrennt und suchen sich seitdem. Malina (die Sonne) wurde von ihrem Bruder Anninga verfolgt und machte ihn schwarz im Gesicht, um am Tag ihn wieder zu entdecken. Dies ist der Grund der Flecke im Monde, der bis auf den heutigen Tag um die Sonne sich dreht, vergebens bemüht, ihr nahe zu kommen. Nach dem letzten Viertel fährt er mit einem Schlitten, dem vier große Hunde vorgespannt sind, auf die Seehundsjagd und kommt wohlgenährt wieder. Viele Sterne haben mythologische Bedeutung. Der Morgenstern und der Abendstern leuchten dem zauberkundigen Noaiden, wenn seine Seele zur Unterwelt fährt. Die Kenai sehen (nach Schiefner) in einem Sterne des Großen Bären ihren Vater. Die Grönländer nennen den Großen Bären Renntier; das Siebengestirn ist ihnen ein Bär, den Hunde hetzen, die Zwillinge sind des Himmels Brustbeine, und im Orionsgürtel sind Seehundsjäger, die an den Himmel versetzt wurden, als sie sich von der Jagd nicht mehr heimfanden. Die Eskimo teilen den Himmel in fünf Regionen ein. Fünfmal stirbt jeder Mensch und wird fünfmal geboren, und nur wenn er das Leben zum fünften Male verlassen hat, verläßt er, sterbend, die Erde für immer, um zu einer anderen Existenz zu gelangen, sei es in der Sonne oder im Monde oder im Nordlichte ꝛc.“

Aus so kindlichen Ansichten heraus, wie wir sie bei diesen Naturvölkern heute finden, entwickelten sich zweifellos zu Urzeiten die Keime der astronomischen Wissenschaft, die zu jener Zeit und noch bis in das historische Altertum hinein mit der Religion, mit Kultus und Kirche auf das engste verschwistert war. Ja, heute noch kann unsere christliche Kirche nicht ohne die Beihilfe des Astronomen bestehen, da die hauptsächlichen kirchlichen Feste sich bekanntlich, einem uralten heidnischen Brauche folgend, nach den Stellungen von Sonne und Mond richten. Alle in dieser Richtung neuerdings aus praktischen Gründen angestrebten Reformversuche scheiterten.





LANDSCHAFTLICHER EINDRUCK DER TOTALEN SONNENFINSTERNIS VOM 30. AUGUST 1905 IN ASSUAN (OBERÄGYPTEN).

Nach einem Aquarell von *Peter Schnorr.*

die Gottesidee allmählich vervollkomm[illegible]
gestellt wurde, waren die letzteren doch [illegible]
ne Minister. Da schien es begreiflicherweise [illegible]
ngen dieser Großmächte des Himmels zu ve[illegible]
merkt hatte, daß selbst diese von feindlichen E[illegible]
r des Menschengeschlechtes zu verschlingen d[illegible]
nagte ein unsichtbares Ungetüm an den heil[illegible]



Neumond in Karagwe, Zentralafrika. Nach Gr[illegible]

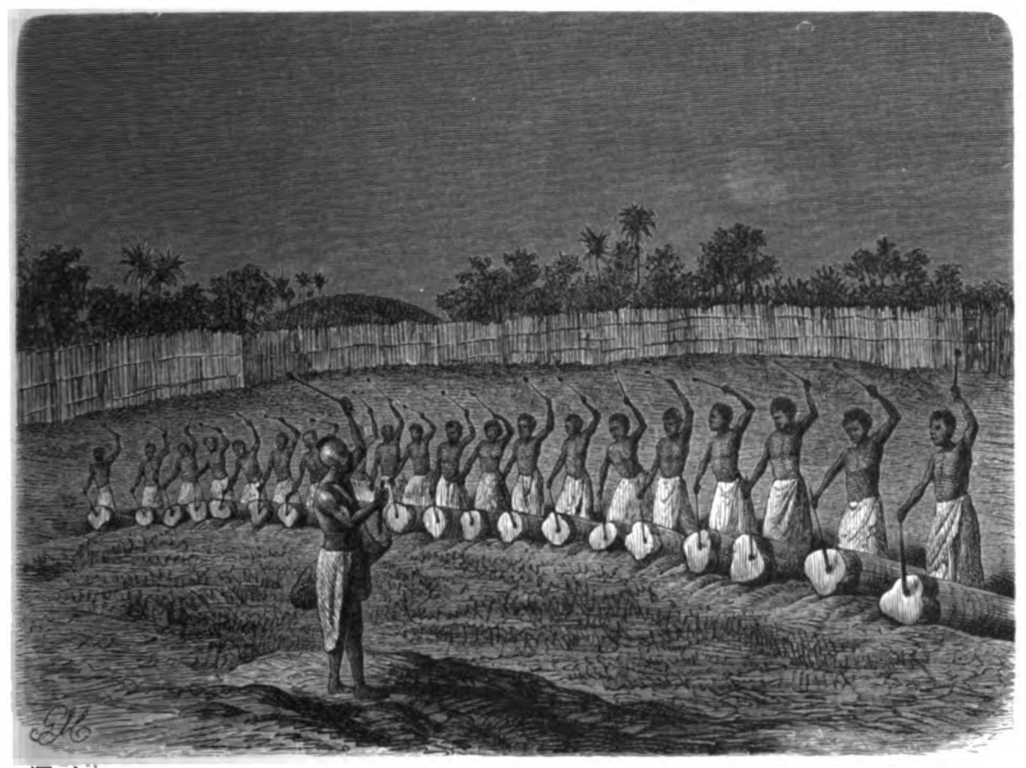
öglichst großen Lärm, den alle Völker bis in die zivilisierte Zeit hinein bei
nheiten für nötig hielten, verscheucht werden (s. die obenstehende Abbildung).
er hatten es durch jahrhundertelange Beobachtung gelernt, diese gefürchteten
zusagen; da sie dadurch ihr Ansehen beim Volke ganz wesentlich erhöhten,
omische Wissenschaft von dieser klugen Kaste immer eifriger gepflegt.
hrere Jahrtausende vor unserer Zeitrechnung war man in China in der
r Finsternisse so weit vorgeschritten, daß die besonders dafür angestellten
r die Todesstrafe erlitten, wenn ein solches Ereignis unvorhergesagt eintrat.
pter n wurden die Pyramiden genau nach den Himmelsrichtungen orien-
Öffnung, die von außen schräg nach innen verlief, wurde so eingerichtet,
lige Polarstern, der also seinen Ort während der täglichen Bewegung der
merklich veränderte, beständig auf das Grabmal im allerheiligsten Innern



LANDSCHAFTLICHER EINDRUCK DER TOTALEN SONNENFINSTERNIS VOM 30. AUGUST 1905 IN ASSUAN (OBERÄGYPTEN).

Nach einem Aquarell von *Peter Schnorr.*

Als sich die Gottesidee allmählich vervollkommnete und ein unsichtbarer Gott über die Gestirne gestellt wurde, waren die letzteren doch zum mindesten seine ausübenden Gehilfen, seine Minister. Da schien es begreiflicherweise nicht minder wichtig, die Taten und Bewegungen dieser Großmächte des Himmels zu verfolgen, namentlich seit man mit Schrecken bemerkt hatte, daß selbst diese von feindlichen Elementen verfolgt wurden, welche die Wohltäter des Menschengeschlechtes zu verschlingen drohten: bei Sonnen- und Mondfinsternissen nagte ein unsichtbares Ungetüm an den heiligen Gestirnen; es konnte nur durch



Neumond in Karagwe, Zentralafrika. Nach Grant.

Gebete und möglichst großen Lärm, den alle Völker bis in die zivilisierte Zeit hinein bei solchen Gelegenheiten für nötig hielten, verscheucht werden (s. die obenstehende Abbildung). Kundige Priester hatten es durch jahrhundertelange Beobachtung gelernt, diese gefürchteten Ereignisse vorauszusagen; da sie dadurch ihr Ansehen beim Volke ganz wesentlich erhöhten, wurde die astronomische Wissenschaft von dieser klugen Kaste immer eifriger gepflegt.

Bereits mehrere Jahrtausende vor unserer Zeitrechnung war man in China in der Voraussage der Finsternisse so weit vorgeschritten, daß die besonders dafür angestellten Hofastronomen die Todesstrafe erlitten, wenn ein solches Ereignis unvorhergesagt eintrat. Bei den Ägyptern wurden die Pyramiden genau nach den Himmelsrichtungen orientiert, und eine Öffnung, die von außen schräg nach innen verlief, wurde so eingerichtet, daß der damalige Polarstern, der also seinen Ort während der täglichen Bewegung der Gestirne nicht merklich veränderte, beständig auf das Grabmal im allerheiligsten Innern

des Kolossalbaues schien. Auch die Tempel des griechischen Altertums wurden so orientiert, daß an einem bestimmten Festtage die ersten Strahlen der aufgehenden Sonne das Allerheiligste beschienen. Die Veränderung dieser Richtung zur aufgehenden Sonne im Laufe der Jahrtausende infolge gewisser langsamer Bewegungen der Erdachse, der sogenannten Präzession, von der wir später ausführlicher zu reden haben werden, können wir aus der Lage dieser Tempel wieder ableiten; damit wird auch die Archäologie, wie so viele andere Wissenschaften, eine Gehilfin der Sternkunde.

Im ackerbauenden Ägypten, wo der Nil alljährlich zu bestimmter Jahreszeit befruchtend über die Ebenen trat, benutzte jeder Landmann den Himmel ganz direkt als seinen Kalender. Von dem Wiedersichtbarwerden gewisser Sterne und Sterngruppen schloß er auf die jeweilige Stellung der Sonne in ihrem scheinbaren jährlichen Umschwung um das Himmelsgewölbe. Er beobachtete, wann ein gewisser Fixstern, der monatelang, da er am Tageshimmel stand, unsichtbar gewesen war, zuerst wieder aus den Sonnenstrahlen hervortrat, den sogenannten heliakischen Aufgang. Die Sternbilder des Tierkreises verdanken ihre Benennungen solchen Beobachtungen. Der Landmann richtete hiernach seine Arbeit ein: wenn die Sonne beispielsweise in das Sternbild des Wassermannes trat, so war es Zeit, sich auf die nahe bevorstehenden Überschwemmungen vorzubereiten; trat die Sonne in das Bild des Krebses, so wußte man, daß sie nun wie der Krebs zurückweichen würde, also ihren höchsten Stand erreicht hatte; war die Sonne bis ins Sternbild der Wage vorgedrungen, so wogen Tag und Nacht gleichviel: der Herbst begann, die Arbeiten im Felde gingen zu Ende, der Landmann maß, wog den Ertrag seiner Ernte, um sie zu verkaufen. Es ist bekannt, daß jene zwölf Zeichen des Tierkreises, die ursprünglich zum Teil mit den verschiedenen Arbeiten des Landmannes in Verbindung gebracht wurden, mit der Lage ihrer zugehörigen Sternbilder nicht mehr übereinstimmen. Auch hier hat die Präzession, das Vorrücken der Nachtgleichen, die Sternbilder um ein Beträchtliches im Laufe der Jahrtausende verschoben, und das Studium alter ägyptischer Tierkreisbilder, die in den Stein unvergänglicher Denkmäler gemeißelt sind, dient heute dazu, die Gesetze ermitteln zu helfen, nach denen die Weltkörper regiert werden.

Von den Ägyptern übernahmen die Griechen und Römer ihre astronomischen Kenntnisse, aber die Geistesanlagen dieser Völker waren nicht geeignet, der Sternkunde große Popularität zu verschaffen. Der Geist der Griechen war hauptsächlich dem inneren Menschen zugekehrt. Solange man noch glücklich genug war, aus voller Seele heraus den Idealen Gestalt zu geben, die man aus dem eigenen Inneren schöpfen konnte, fühlte man noch nicht das Bedürfnis der Beobachtung der äußeren Welt. Einzelne kühne Denker dieser glücklichen Zeit, die schon erstaunlich klare Ansichten über die Einrichtung des Weltgebäudes ausgesprochen hatten, wie namentlich Aristarch (siehe auch das Kapitel über die Weltansichten vor Newton, im zweiten Teile dieses Werkes), konnten ihnen keine allgemeine Anerkennung verschaffen. Die Römer aber hatten die irdische Welt zu erobern; sie hatten keine Zeit, sich um die himmlische zu kümmern. Der Geist dieses Volkes war zu sehr mit politischen Dingen beschäftigt. Die immer vollkommener werdenden staatlichen Organisationen, der Aufschwung der religiösen Anschauungen zur abstrakten Gottesidee machten die direkte Beobachtung des Himmels für den Privatmann entbehrlicher, namentlich auch seitdem die Bestimmung der Tagesstunde durch die eingeführten Sand- und Wasseruhren ermöglicht worden war.



Nun hatten inzwischen die Byzantiner Alexandrien erobert und trugen mit den anderen zugleich die dort hoch aufgestapelten Wissensschätze nach Arabien hinüber. Hier begannen die klugen Könige dieses Landes sich der astronomischen Wissenschaft zu bemächtigen. Wohleingerichtete Staatssternwarten entstanden, auf denen man die Bewegungen der Himmelskörper auf das genaueste verfolgte und ihre Gesetze zu ergründen suchte. Hier erst wurde die eigentliche Wissenschaft der Sternkunde begründet. Zugleich wurde sie die vornehmste der Wissenschaften, wert, daß sie von Königen persönlich betrieben wurde.

Die Araber brachten die Sternkunde ins Abendland, und hier bemächtigte sich ihrer wieder hauptsächlich die Geistlichkeit. War nun zwar der Glaube an die Heiligkeit der Gestirne geschwunden, so blieb doch die uralte Überzeugung von ihrem Einflusse auf die Geschicke der Menschen bestehen. Das immer noch undurchdringliche Mysterium der himmlischen Ereignisse war nach wie vor eines der stärksten Mittel für die Priesterschaft, um auf die Gemüter der Menschen einzuwirken. Aus diesem Einfluß entwickelte sich der häßliche Auswuchs der Sterndeuterei, der das ganze Mittelalter beherrschenden Astrologie. Wie der Unsinn, die Lüge, die Unwissenheit stets eine wahrhaft diabolische Macht auf die große Menge ausübten, so verhalf nun der Sternaberglaube der Beobachtung der Gestirne wieder zu einer ungeahnten Volkstümlichkeit. Im Mittelalter ließ fast jeder Vater seinem Kinde das Horoskop stellen, und kein Feldherr unternahm eine Schlacht, ehe er sich nicht durch die Beobachtungen und Rechnungen seines Astrologen davon überzeugt hatte, daß die Stellungen der Gestirne seinem Unternehmen günstig seien. Die letzten Reste dieser Sterndeuterei begegnen uns noch heute auf unseren Jahrmärkten, wo uns aus unserem „Planeten" unser Charakter und unsere Zukunft gezeigt werden. Aus dieser Zähigkeit ihres Lebens ersehen wir, welche ungeheure Popularität die Sterndeuterei einstmals besessen haben muß.



Johannes Kepler (geb. zu Weil der Stadt in Schwaben 1571, gest. in Regensburg 1630). Nach einem Stich von J. von Heyden, wiedergegeben im „Historischen Porträtwerk" von Seidlitz.

Aber so bedenklich dieser Irrweg an sich auch war, so notwendig war er, wie sich später herausstellte, als ein Entwickelungsstadium, gewissermaßen als eine unvermeidliche, reinigende Krankheit. Es ist bekannt, daß Kepler sein kärgliches Brot als Sterndeuter verdiente. Jedoch sein Streben, die Astrologie philosophisch zu vertiefen, führte ihn schließlich zu der Erkenntnis jener großen Gesetze, auf denen das stolze Gebäude unserer

heutigen astronomischen Wissenschaft ruht. Kepler selbst sagt über diese Beziehung der Sterndeuterei zur Astronomie in charakteristischer Weise: „Es ist wohl diese Astrologia ein närrisches Töchterlin; aber du lieber Gott, wo wolt jhr Mutter, die hochvernünfftige Astronomia, bleiben, wenn sie jhre närrische Tochter nit hette, ist doch die Welt noch viel närrischer und so närrisch, daß deroselben zu jhrem Frommen diese alte verständige Mutter durch der Tochter Narrentahdung eyngeschwatzt und eyngelogen werden muß. Und seind der Mathematicorum salaria so gering, daß die Mutter gewißlich Hunger leyden müßte, wann die Tochter nichts erwürbe."

Wie konnte es aber kommen, daß gerade von dieser Zeit der Reformation der Sternkunde an, seitdem also unsere Kenntnisse von den Einrichtungen des Weltgebäudes auf mathematisch gesicherten Boden gestellt wurden, das allgemeine Interesse an ihr im entschiedenen Abnehmen begriffen war? Mit Beschämung sehen wir bei dieser Gelegenheit die uralte Wahrheit bestätigt, daß die Menschheit aufhört, sich für ein Ding zu interessieren, sobald es seines Nimbus des Wunderbaren beraubt ist. Es kam hier noch hinzu, daß nun der Geistlichkeit die Pflege der Wissenschaft des Himmels nicht weiter am Herzen liegen konnte. Es entwickelte sich bekanntlich sogar bald ein scharfer Gegensatz zwischen der Kirche und dem neuen Aufschwung der astronomischen Lehren heraus, seitdem Kopernikus die Erde aus dem Mittelpunkte des Weltganzen versetzt hatte, um ihr eine so ungemein bescheidene Stellung im Weltgetriebe anzuweisen. An sich zwar hätte die Erkenntnis dieser Tatsache die Kirche zweifellos noch nicht zum vollständigen Verlassen ihrer bis dahin ausschließlichen Domäne vermocht, wenn nicht durch den allzu mächtigen Geist Galileis der Streit angefacht und öffentlich gemacht worden wäre; die kluge Priesterschaft hätte sonst wohl einen weniger peinlichen Ausweg aus dem Dilemma gefunden.

Doch da nun die damals noch allmächtige Geistlichkeit sich so entschieden gegen die neue Lehre ausgesprochen hatte, war es begreiflich, daß sich die tiefe Ehrfurcht, die man früher den Sternkundigen bezeugt hatte, geradezu in Spott und Hohn verwandelte, der sich in Pamphleten, Fastnachtsspielen auf Jahrmärkten, kurz in jeder Weise kundgab. Mit der Popularität der Astronomie war es damit zu Ende.

Dazu kam noch, daß das Schulwesen, das sich gerade um diese Zeit allgemeiner entwickelte, ausschließlich in den Händen der Geistlichkeit lag. Diese aber hütete sich wohl, einen Wissenszweig in das Lehrprogramm aufzunehmen, der, wenigstens in ihren Augen, aus einem mächtigen Gehilfen zum erbitterten Feind der Kirche geworden war. Wenn, wie es jetzt gelehrt wurde, die himmlischen Bewegungen sich auf einfache Gesetze zurückführen und ihre Erscheinungen jederzeit, ohne die Zuhilfenahme überirdischer Gewalten, vorausbestimmen ließen, so hörten sie eben auf, göttliche Fingerzeige zu sein. Die Priesterschaft hatte keinerlei Grund mehr, sich mit ihnen zu befassen.

Mit dieser Vernachlässigung ging zunächst im Bereiche der volkstümlichen Ansichten über die Himmelserscheinungen ein verhältnismäßig schnelles Verblühen des vorher so wuchernd auftretenden astrologischen Aberglaubens parallel. Blieb auch ein Auswuchs davon, die Kometenfurcht, bis in die neueste Zeit im Volke bestehen, so kleidete sich doch dieser Aberglaube in ein ganz anderes Gewand; er nahm gewissermaßen einen wissenschaftlichen Charakter an. Alle solche Ideen klammern sich gegenwärtig, wenn auch oft mit krassester Kenntnislosigkeit, an naturwissenschaftliche Anschauungen, beruhen nicht mehr auf dem Glauben an die Einwirkung eines direkten göttlichen Eingriffes, wie ehemals,

als das Erscheinen eines Kometen noch politische Wirren, Aufstand, Krieg, den Tod berühmter Menschen anzeigen sollte.

Zwar leidet die hohe Wissenschaft der Sternkunde auch heute noch, nachdem die Schule sich mehr und mehr von der Kirche losgesagt hat, unter den Nachwirkungen des Bannstrahls, den die Kirche zu Zeiten Galileis auf sie schleuderte, doch konnte sich die Astronomie in ihrem Asyl, hinter den stillen Mauern der Sternwarte, völlig reinigen von dem Wuste uralter Vorteile, um nun, in unserem Zeitalter der Naturwissenschaften, geläutert, erhabener als je wieder vor die Menschheit hinzutreten.

Heute ist ein unzweifelhafter Aufschwung auch des allgemeinen Interesses an der Sternenwelt festzustellen. Namentlich in jenen Ländern, die nicht allzusehr von politischen und sozialen Sorgen gedrückt werden, steht die astronomische Wissenschaft wieder in voller Blüte. Die Neue Welt zeichnet sich in dieser Hinsicht vorteilhaft vor allen anderen Nationen aus. Privatleute stellen dort zur Förderung der Sternkunde Millionen zur Verfügung; die größten Fernrohre der Welt, aus Privatmitteln hergestellt, durchmustern dort rastlos die Himmelsräume, und als im Jahre 1892 der Planet Mars uns wieder besonders nahekam, waren alle amerikanischen Tagesblätter erfüllt von Nachrichten über die bei dieser Gelegenheit ausgeführten Beobachtungen, ganz ebenso, als handle es sich um irgend ein epochemachendes politisches Ereignis. Wie naiv sich nun auch oft in den Augen der Fachkenner solche Bemühungen, die Himmelsereignisse zu Sensationen zu stempeln, darstellen, so zeigen sie doch, wie das Gemüt der Menschen aufs neue von den gewaltigen Schauspielen am Himmel ergriffen wird.

Welchen neu auftretenden Gesichtspunkten ist diese glückliche Wendung zuzuschreiben? In erster Linie unzweifelhaft den großen Fortschritten, die in den letzten Jahrzehnten die Astrophysik, die Lehre von der Beschaffenheit anderer Welten, erfahren hat. Seit den ersten Anfängen astronomischer Beobachtungen bis in das Zeitalter ihrer Reformation zu Anfang des 17. Jahrhunderts konnte man weiter nichts tun als die Bewegungen der Himmelskörper verfolgen; über ihre Beschaffenheit war jede Untersuchung unmöglich. Wissenschaftlich konnte man sich erst mit solchen Fragen beschäftigen, seitdem im Jahre 1610 Galilei das erste Fernrohr gegen den Himmel gerichtet hatte. Noch lange nachher aber, selbst bis in die Mitte des 19. Jahrhunderts hinein, definierte man die Sternkunde einseitig als die Wissenschaft, welche die Bewegungen der Gestirne zu ergründen, ihre Gesetze aufzufinden trachtet, und noch Bessel, der größte beobachtende Astronom der ersten Hälfte des vorigen Jahrhunderts, hielt die Beschäftigung mit der Frage, was die Schattierungen auf der Oberfläche des Mondes bedeuten, für eine interessante Spielerei, mit der sich wohl Laien, aber keine Fachleute befassen dürften. Diese Einseitigkeit, die allerdings der Vertiefung in den speziellen Gegenstand zustatten kam, mußte jedoch der Volkstümlichkeit unserer erhabenen Wissenschaft erheblich schaden, da der Laie sich in die schwierigen Gedankengänge, die zur Ermittelung der himmlischen Bewegungsgesetze führten, nur sehr mühsam hineinfinden konnte. Die Astronomie wurde also immer mehr eine esoterische Wissenschaft, die jede Berührung mit der Außenwelt mied. Ihre Jünger haben durch dieses strenge Abschließen der Menschenwelt gegenüber ein großes, nur schwer wieder gut zu machendes Unrecht begangen. Alle jene erzieherischen und ethischen Wirkungen, die so mächtig von keiner anderen Wissenschaft ausströmen wie von dieser Erkenntnis der ewigen, unerschütterlichen Harmonie des großen

Weltgeschehens, blieben, ängstlich gehütet von egoistischer, einseitiger Liebe, abermals hinter Sternwartenmauern eingeschlossen wie vordem in dumpfen Klöstern.

Seitdem aber die Astrophysik uns so hochinteressante Auskünfte über die Oberflächenbeschaffenheit der Himmelskörper gegeben hat, seitdem wir wissen, daß es nachbarliche Welten gibt, deren Gestaltung und deren Lebensbedingungen denen unserer Erde zweifellos ähnlich sind, so daß wir verwandte Wesen auf ihnen vermuten dürfen, seitdem werden wir in unserem tiefsten Inneren auch wieder menschlich bewegt, wenn wir, bewaffnet mit den wunderbaren Hilfsmitteln unserer Intelligenz, hinausschauen, diesen leuchtenden Schwesterwelten entgegen.

„Es gibt", sagt Camille Flammarion in seinem großen Werke über den Planeten Mars, „im Leben reizvolle Stunden, köstliche Freuden, himmlische Glückseligkeiten, unsagbare Wonnen. Nun, unter diesen wundervollen Stunden gibt es wenige, die eine vollständigere Befriedigung in unsere Seele gießen, die uns in edlerer und höherer Weise bewegen könnten, als die Beobachtung der Gestaltungen auf dem Planeten Mars in einer reinen Sommernacht. Es ist wahrhaft beklagenswert, daß so wenig Menschen diesen Eindruck empfunden haben: vor sich eine Welt zu sehen, eine andere Welt mit ihren Kontinenten, ihren Meeren, ihren Ufern, ihren Meerbusen, ihren Vorgebirgen, ihren Inseln, ihren Flußmündungen, ihren blendenden Schneegebieten, ihren sonnenvergoldeten Landschaften, ihren dunkeln Gewässern, so wie sie vor uns steht, durch unser Fernrohr gesehen, und wie sie langsam sich um sich selbst dreht, Tag und Nacht ihren verschiedenen Gebieten gebend, den Frühling auf den Winter, den Sommer auf den Frühling folgen lassend, ein Miniaturbild unserer Erde im weiten Himmelsraume. Diese Betrachtung trägt uns bis zu den höchsten Mysterien der Natur, zur Frage nach dem universellen, dem ewigen Leben, sie stellt uns vor die Fragen nach der letzten Wahrheit, vor den Schöpfungsgedanken. Die Erde wird zu einer Provinz des Universums, und unsere Empfindung bevölkert andere Vaterländer in der Unendlichkeit mit unbekannten Brüdern."

Wir werden zwar bald erkennen, daß der ethische Wert des astronomischen Studiums, das auf alle menschlichen Regungen und Tätigkeiten läuternd wirken muß, nicht von dieser bloßen Betrachtung der Himmelskörper und den sich daran knüpfenden reizvollen Träumereien ausstrahlt, sondern erst bei tieferem Eindringen in die unerschütterliche Gesetzlichkeit des himmlischen Geschehens erreicht wird. Aber diese menschlichen Empfindungen öffnen das geistige Auge, spornen zu tieferem Eindringen an.

Die erzieherische Seite des astronomischen Studiums und ganz allgemein der eindringenderen Beschäftigung mit der Natur hat niemand treffender, überzeugender darzutun verstanden als der große Pädagog Adolf Diesterweg. Wir können nichts Besseres tun, als diese goldenen Worte wiederzugeben:

„Des Menschen Antlitz ist nicht zur Erde, sondern aufwärts gerichtet. Sein Blick fällt schon in früher Jugend auf den Himmel, und die ältesten Naturvölker kannten die allgemeinen Erscheinungen desselben. Sie zeigen ewigen Wechsel in ewigem Bestand unter unabänderlichen allgemeinen Gesetzen. Alles ist dort Regel und Gesetz. Sie zu erkennen, fordert die Würde des Menschen. Die Wissenschaft, die sich mit dem Himmel beschäftigt, ist die ‚erhabenste im Raume'. Echtes Naturwissen oder mit einem Worte Naturerkenntnis ist Kenntnis der Erscheinungen, ihrer Ursachen und ihres gesetzmäßigen Verlaufs.



„Wie alles gewisse objektive Wissen, an dem kein subjektives Meinen oder Vermuten haftet, den Geist fest und sicher macht und denselben mit bleibendem Inhalt erfüllt: so auch das Wissen der allgemeinen Erscheinungen und ihrer Gesetze. Es erhebt den Menschen über die irdischen Wechselfälle des Lebens, über das Vergängliche und Eitle, das vorüberrauscht wie die Wellen des Meeres, und dessen Gesetze wir zum größten Teile nicht kennen.

„Zu allen Zeiten haben daher ruhige und stille Gemüter eine besondere Anziehung zur Kenntnis des gestirnten Himmels verspürt. Tiefer angelegten Kindern ist sie in besonderem Grade eigen. Ganz allgemein ist das Interesse für dieses Wissen. . . . Nur der von den Sorgen des Lebens ganz erfüllte, unter den irdischen Lasten erliegende, oder auch der von den Leidenschaften ganz unterjochte Mensch ist für ein so reines, an und für sich schon veredelndes Wissen unempfänglich. Aber, wie die Erfahrung lehrt, selbst die Unglücklichsten der Wesen, abgearbeitete Fabrikkinder, freuen sich, wenn dem müden Leib nur einige Ruhe und Stärkung geworden, noch in späten Abendstunden etwas von Sonne, Mond und Sternen zu hören. . . .

„Die Astronomie erweitert des Menschen Blick und erhebt ihn über engherzige, lokale Auffassungen und Ansichten. Daß jeder seine Weltansicht von seinem Standpunkt aus beginnt, bedarf keiner Entschuldigung, das versteht sich von selbst, es kann und darf nicht anders sein. Wer aber dabei stehen bleibt, wer nie erfährt, wie die Welt auf anderen Standpunkten aussieht, sich nicht auf andere Standpunkte zu stellen, sich nicht zu allgemeinen, universalen, dem ganzen Menschengeschlechte gemeinschaftlichen Ansichten zu erheben vermag: der ist recht eigentlich ein an die Scholle gefesselter (glebae adscriptus), bornierter Mensch. Die Astronomie ist das vorzüglichste Mittel, sich zu großartiger Weltanschauung zu erheben. Das Handeln des Mannes wird freier, wenn ‚das Haus sich dehnt‘, und die Winzigkeit der Ansichten verschwindet, wenn die Räume wachsen. Um bei sich recht daheim zu sein, muß man ein Weltbürger werden, und um das Erdenleben zu fassen, muß man in die Himmelsräume hineinschreiten und sie umfassen. Ich wüßte auch kein anderes Wissen zu nennen, das den Menschen in gleichem Grad erhebt und beruhigt. Wahrlich, in der Unruhe und dem Streite der Gegenwart fühlt der aus diesen Konflikten heraus zu ihr hintretende Mensch recht innig und tief ihre besänftigende, veredelnde Kraft. In ihr herrscht keine Feindschaft und kein Haß. Sie entwurzelt diese herzanfressenden Dämone. In voller Wahrheit, sie ist eine herrliche, erhabene, weil erhebende Wissenschaft. Wie kann es auch anders sein, da ihre Gesetze und Regeln nicht auf Menschenmachwerk, sondern auf den Baumeister der Welt zurückweisen! Darum sollte sie keinem, auch nicht einem Menschen vorenthalten werden. . . .

„Die Astronomie als Naturwissenschaft stellt den, der sich mit ihr beschäftigt, in die Natur. Nur auf diesem Standpunkt ist eine natürliche, gesunde und wahre Betrachtungsweise der Dinge möglich; durch ihn wird man unmittelbar in die Gegenwart eingeführt und dadurch befähigt, die Vergangenheit in der Beziehung, was sie Wahres zutage gefördert und inwiefern sie die richtige Bahn zur Kultur eingeschlagen hat, richtig zu würdigen. Der gesunde, zum Schaffen bereite Mensch beurteilt die Gegenwart nicht nach der Vergangenheit, sondern die Vergangenheit nach der Gegenwart. Die Gegenwart steht auf den Schultern der Vergangenheit, ist über sie hinausgeschritten. Das Unvollkommene hat sein Maß an dem Vollkommeneren. Unnatürliche, verschrobene, widerwärtige Systeme und Richtungen werden in ihrer Verkehrtheit an der Natur und durch

die Natur (die äußere und innere) erkannt und beseitigt; die Karikatur wird als solche an der Natur erkannt. Für die Rückkehr zu natürlichen Verhältnissen, Zuständen, An- und Einsichten ist darum das Studium der Natur von der höchsten Bedeutung.

„Diesen natürlichen Erfolg des Studiums der Natur schlage ich höher an als die unmittelbare Kenntnis derselben; diese Folgen erstrecken sich bei einem konsequenten Menschen über sein ganzes Denken und Tun, über seine ganze Weltauffassung und Weltstellung. Die Wahrheit der Natur kann nicht verstümmelt werden. Alle übrige ‚Wahrheit' findet deshalb an der einmal erkannten Naturwahrheit ihre Kontrolle. Nur im unmittelbaren Verkehre mit der Natur geneset der Mensch, legt er alle überspannten, alle über- und widernatürlichen Vorstellungen und Einbildungen ab. Ohne Bildung und Erfahrung durch Natur sind alle Menschen dem Aberglauben untertan; seine Macht ruht auf der Unwissenheit und Dummheit der Menschen.

„Was der Naturwahrheit widerspricht, ist falsch, wie alles, was mit der Natur nicht harmoniert, widerwärtig und verkehrt ist. Alles in der Natur steht miteinander in vollkommener Einheit und Harmonie. Wer daher auch in menschlichen Verhältnissen zur Erreichung dieses Zieles mitwirken will, wende sich zur Natur! Wie wichtig dieses ist, kann man sowohl an der Naturbeschaffenheit derjenigen Menschen erkennen, welche vorzugsweise unter Natureinflüssen stehen, als auch an denjenigen, welche sich ihnen entziehen und den Einfluß des Naturstudiums auf ihre Systeme, Erfindungen und Richtungen fürchten. Diese letztere Erscheinung enthält einen negativen, jene einen positiven Impuls zur Beschäftigung mit der Natur.* Vor ihrem Antlitze besteht kein künstliches Gemächte, und abergläubische Meinungen verschwinden vor ihr wie Nachteulen vor der Sonne. In den Naturwissenschaften liegt eine natürliche Gegenwirkung gegen Reaktionsversuche, Verfinsterungssysteme und -Pläne. Alle wahre Aufklärung ist eine Frucht wahrer Naturerkenntnis und frischer Entwickelung der eigenen Natur. Verschrobene Menschen hassen die Natur — ein lehrreicher Fingerzeig für jeden, der der äußeren und inneren Natur zu vertrauen nicht verlernt hat. In der Natur leben, weben und sind wir, sie ist das den Menschen Umfassende, durch ihre Hinwegnahme wird seine eigene Existenz aufgehoben, durch sie besteht er. Den Menschen von der Natur losreißen, ist ebensoviel, als wenn man das Auge vom Lichte, die Lunge von der Luft absondern und zu einem für sich selbst bestehenden Wesen machen wollte. Den Menschen von der Kenntnis und Erforschung der Natur abhalten, heißt ihm die Quelle der unmittelbaren Wahrheit verstopfen und ihm das Heilmittel gegen jedwede Art von Verschrobenheit und Unnatur entziehen. Zu dieser Verschrobenheit gehören auch die religiösen Skrupel bei dieser oder jener Entdeckung, d. h. Wahrheit in der Natur. Die Astronomen bekümmern sich darum nicht. Ja, sie erblicken in der durchgängigen Gesetzlichkeit der Naturerscheinungen einen Beweis für das Wirken des Weltschöpfers. . . .

„Astronomische Einsichten wirken durch sich selbst. Aber ich gestehe, daß ich wünsche, daß der denkende Leser nicht bei ihnen im strengsten Sinne des Wortes stehen bleibe, sondern sie in sich wirken lasse, d. h. namentlich sein übriges Denken und Fürwahrhalten, von anderen Seiten ihm zugekommen, mit jenen Erkenntnissen und Einsichten zusammenstelle und vergleiche und untersuche, ob sie mit ihnen harmonieren oder nicht. Isolierte Kenntnisse fruchten wenig. Alles im Geiste muß miteinander in Übereinstimmung stehen. In dieser Beziehung kann das Studium der Natur, die Erkenntnis der großen unabänderlichen

Gesetze für die Bildung des Geistes die tiefsten, weitgehendsten Folgen haben. Die Astronomie läutert und reinigt."

Das astronomische Studium erzieht ferner zur Genauigkeit in allem menschlichen Tun und Denken. Der vertiefende Einfluß solcher Erziehung zur Genauigkeit, ja geradezu die Notwendigkeit bei unseren immer verwickelter sich gestaltenden Lebensverhältnissen, methodischere Untersuchungen als bisher anzustellen, welche die Möglichkeit persönlicher Irrtümer eines einzelnen Menschen auf ein Minimum beschränken, und zwar sie anzustellen, ehe man einen Beschluß faßt, der in ein Menschenschicksal verhängnisvoll eingreifen kann, läßt sich leicht nachweisen.

Wir müssen nun zwar, um auch unserseits genau und gerecht zu sein, nicht unerwähnt lassen, daß heutzutage die Astronomie nicht mehr die einzige Wissenschaft ist, die den Genauigkeitssinn erweckt und fördert. Ganz mit Recht sagt Volkmann: „Die Sonderstellung, welche die Astronomie lange Zeit eingenommen, und welche ihr vorübergehend bisweilen den Namen einer Königin der Wissenschaften verschafft hat, liegt in der Vergangenheit. An astronomischen Methoden und Messungen hat sich unter wesentlicher Beihilfe von Astronomen als jüngere Schwester die Physik kräftig entwickelt, und infolge der greifbareren und zugänglicheren Objekte konnte es ihr nicht fehlen, in ihren Messungen weit größere Genauigkeit zu erreichen, als sie überhaupt in irgend einer anderen Wissenschaft möglich sind. . . ."

Es ist bekannt, daß noch bis vor verhältnismäßig kurzer Zeit die Astronomie nur als ein Teil der Physik betrachtet wurde. Erst als sie nach ihrer Reformation mächtig heranwuchs, mußte ihr allmählich der Rang einer besonderen Wissenschaft zuerkannt werden. Hieraus geht die innige Verwandtschaft beider Wissenszweige schon zur Genüge hervor, und wir werden in der Folge oft genug Gelegenheit haben, von diesen innigen Beziehungen Gebrauch machen zu müssen. Bei tieferem Eindringen wird deshalb wohl die Physik gewiß denselben erzieherischen Wert entwickeln wie die Himmelswissenschaft, aber die letztere wird vor allen anderen stets den großen Vorzug der Erhabenheit ihrer Objekte, des Geheimnisvollen haben, das alles Außerirdische umgibt. Es ist wahr, dieser Vorzug ist nur für den Eintretenden in diese Gebiete vorhanden; der Eingeweihte wird in allen Naturgebieten des Erhabenen, des Großen, des Geheimnisvollen genug entdecken. Hier aber, beim Eintritt in die Sternenwelt, bringen wir die weihevolle Stimmung, den Drang nach besserer Erkenntnis als ein Erbteil der Jahrtausende mit uns.

Diese einleitenden Betrachtungen zeigen, daß die Beschäftigung mit den Erscheinungen des ewigen Firmamentes zu allen Zeiten die höchsten und tiefsten Saiten unseres Wesens in volltönendes Schwingen zu versetzen wußte, und daß sie es war, die unausgesetzt wesentlichen Anteil an der geistigen Entwickelung des Menschengeschlechtes genommen hat. Zwar wechselte vielfach die Rolle dieses Einflusses, und in wirren Zeiten rastlosen Ringens der Menschheit nach neuen Lebensbedingungen, wenn materielle Sorgen der Völker, wenn politische Unsicherheiten die edleren Regungen der Seele einengten, den Geist allzusehr an die nährende Erde knechteten, konnte wohl für kurze Zeit das heilige Feuer gedämpft, doch niemals erstickt werden. Und heute, da die Kunde von der ewigen Harmonie des Weltgeschehens aus dem mystischen Dunkel mittelalterlichen Aberglaubens schöner und menschlich vollkommener als je erstand, heute schwingt sie sich auf zu einer Erzieherin der Menschheit in ihren allgemeinsten und innersten Regungen.



Soll die Beschäftigung mit den Welten jenseits des engen Erdkreises nicht nur eine leicht angefachte und deshalb oft wieder ebenso schnell erlöschende Neugier befriedigen, soll sie selbst mehr tun, als einen edlen Wissensdrang stillen, dem die Erde zu klein zu werden beginnt, verlangen wir von ihr vielmehr jenen allgemein veredelnden Einfluß, von dem wir in den vorangegangenen Betrachtungen sprachen, so dürfen wir nicht nur beschreiben und darstellen, was andere Astronomen von den Gestirnen gesehen und gedacht haben, sondern wir müssen selbst sehen, selbst denken lernen; wir wollen und sollen nicht anderen glauben und nachsprechen, sondern überzeugt werden. Nicht der mystische Reiz des Unfaßbaren, der von der materiellen Größe der Himmelsobjekte ausgeht, soll unseren Geist umdämmern, wenn wir uns in das Getriebe jener schwebenden Welten vertiefen; wir wollen vielmehr, mit immer wachsender Begeisterung aufstrebend zu dem strahlenden Lichte der Erkenntnis von der allgemeinen Gesetzlichkeit des Weltgeschehens, die erhabene Ordnung des Ganzen bewundern. Dann wird, von dieser Erkenntnis zurückstrahlend, auch Ordnung und Harmonie unser Tun und Handeln mehr und mehr durchdringen. Nicht die Resultate der Forschung, sondern ihre Methoden müssen im Vordergrunde unserer Betrachtungen stehen. Ganz besonders gegenüber den himmelweiten Objekten unserer Wissenschaft ist dies notwendig, da der naive Menschenverstand sich nur schwer von der Meinung trennt, daß die materiell unüberbrückbare Entfernung der Gestirne auch jedem absoluten Wissen ein unübersteigbares Hindernis sein müsse, und daß die interessanten Dinge, die wir von den Sternen berichten, doch mehr oder weniger nur Meinungen dieser oder jener besonders gelehrten oder geistreichen Menschen seien. Wir müssen deshalb streng auseinander halten, was von unseren Forschungsresultaten dieser Art von Erkenntnis angehört, und was wir mit der Sicherheit rein logischer Schlüsse wirklich ein für allemal unantastbar wissen. Wir werden dabei bald erkennen, daß gerade die Wissenschaft von den unerreichbaren Sternen mehr absolutes Wissen birgt als jedes andere Wissensgebiet, das sich mit allernächstliegenden Gegenständen befaßt. Nur die der Himmelswissenschaft so nahe verwandte Physik kann sich heute an Schätzen absolut erkannter Wahrheit mit der Astronomie messen.

Gewiß halten es die meisten Nichtastronomen für viel zu schwierig, Gedankengängen zu folgen, die so kühn den wohlbekannten sicheren Boden der Erde verlassen. Vielen schwindelt es schon bei der Anschauung jener Resultate; wieviel mehr wird das der Fall sein, wenn man nun gar den Beweisen dazu nachgehen soll! Es ist von großer Wichtigkeit, dieses Vorurteil sogleich zu zerstreuen. Nichts ist in der Tat leichter, als der Kette logischer Schlüsse zu folgen, die zu den Sternen hinaufführt, wenn man zu denken gelernt hat. Aus einigen sehr wenigen Regeln, Gesetzen, läßt sich das ganze Getriebe der Himmelskörper verstehen und erklären, während man in den meisten anderen Wissenschaften eine Unsumme von Material in sich aufnehmen muß, das sich nicht ohne weiteres logisch aneinander knüpft. Es ist aber stets nur dieses zunächst noch nicht in ein System untergebrachte Einzelwissen, das dem Laien die meisten Schwierigkeiten bereitet. Da er sich dem Studium des betreffenden Gegenstandes nicht völlig hingeben kann und will, das heißt, da er die vielen einzelnen Wissensdaten nicht auswendig zu lernen vermag, so werden ihm die später an diese Daten geknüpften Beweisführungen und Schlüsse um so mehr Schwierigkeiten verursachen, als sein Schatz an Einzelwissen lückenhaft geblieben ist. Unser astronomisches Wissen aber läßt sich so darstellen, daß es sich in unserem Geist

entwickelt, Wurzel schlägt und Stamm und Zweige treibt, daß es, mit einem Worte, organisch mit uns verwächst.

Die Größe aber und unfaßbare Entfernung der himmlischen Objekte werden aufhören uns Schwierigkeiten zu machen, da wir bald lernen werden, die Dinge relativ zu nehmen. Dann gibt es nichts Großes und nichts Kleines mehr für uns, wenigstens nicht mehr in dem Sinne, daß das über menschliches Maß Hinausgehende schon deshalb unserer Bewunderung würdig wäre. Auch die unfaßbar kleinen Gegenstände und Wesen bewundern wir ja nur, sobald wir einen ebenso schönen Organismus, eine ebenso harmonische Gesetzmäßigkeit an ihnen entdecken wie innerhalb der uns unmittelbarer zugänglichen Natur. In diesem Sinne ist dann auch die Bewunderung der Größe des Universums am rechten Orte.

---

2. Das Licht und das Fernrohr.

Der erste Schritt von der Erde hinweg wird offenbar der schwierigste sein. Denn wir dürfen uns unserer Gedankenwelt allein nicht anvertrauen, die sich gar leicht dort hinauf zu schwingen vermag. Wollen wir eine sichere Brücke bauen, die unserem Fuß auf diesem weiten Wege eine materielle Unterlage darbietet, so muß der Stützpunkt dieser Brücke auf der uns wohlbekannten Erde zunächst möglichst fest fundiert sein. Diesen irdischen Stützpunkt bilden die astronomischen Instrumente und Beobachtungsmethoden, und mit ihnen müssen wir uns zunächst bekannt machen.

Die einzige direkte Verbindung, die uns mit den Sternen verknüpft, ist die durch das L i c h t gegebene. So ungreifbar und unsicher das mit unfaßbarer Geschwindigkeit dahinschwirrende Nichts, das man die Erscheinung des Lichtes nennt, uns auch im ersten Momente sich darstellen mag, so ist man doch heute nicht mehr darüber im Zweifel, daß durch das Licht eine wirkliche, materielle Verbindung mit den leuchtenden Körpern, also in unserem Falle mit den Sternen, hergestellt wird. Zwar nicht so ist diese zu denken, wie man es noch bis auf Newton glaubte, daß materielle Teilchen sich wirklich von dem leuchtenden Körper loslösten und nun als unendlich kleine, unfaßbar schnell bewegte Projektile auf dem direktesten Wege der geraden Linie in unser Auge gelangten, sondern der leuchtende Körper setzt die das Weltall erfüllenden Ätheratome in Schwingungen, die sich durch wirkliche materielle Übertragung dem nächsten Atome mitteilen, während das erstere in seine Ruhelage zurückkehrt oder sofort einen zweiten Impuls gleicher Art empfängt, wenn der betreffende Körper in derselben Weise wie vordem weiterleuchtet. Die Ätheratome, unter denen man sich irgendwelche, nur genügend kleine materielle Körper vorstellen kann, pendeln also in solchem Falle um einen Ruhepunkt. Das letzte schwingende Atom, das die Sehzapfen unserer Netzhaut trifft und dadurch den Nervenreiz auslöst, den wir Lichtempfindung nennen, hat eine Bewegungseigenschaft, die auch, in entsprechend verändertem Maßstabe, demjenigen leuchtenden Körper eigen war, von dem die ganze Kette von Bewegungen ausging. Unser Auge analysiert die Art dieser Bewegung: es erkennt, ob das Licht intensiv ist, das heißt, ob sehr viele Atome gleichzeitig von derselben Richtung her auf die Netzhaut schlagen; es bestimmt ferner die Farbe des Gegenstandes, das heißt, wie schnell die Atome aufschlagen. Der Physiker hat gezeigt,



daß violettes Licht die Atome am schnellsten vibrieren läßt, während sich rotes Licht unserem Auge durch die trägsten Atombewegungen anzeigt. Das Auge ist also das vorzüglichste und wichtigste Instrument des Astronomen, durch dessen Pforte erst all unser Wissen vom Weltgebäude in unsere Sinne einzutreten hat.

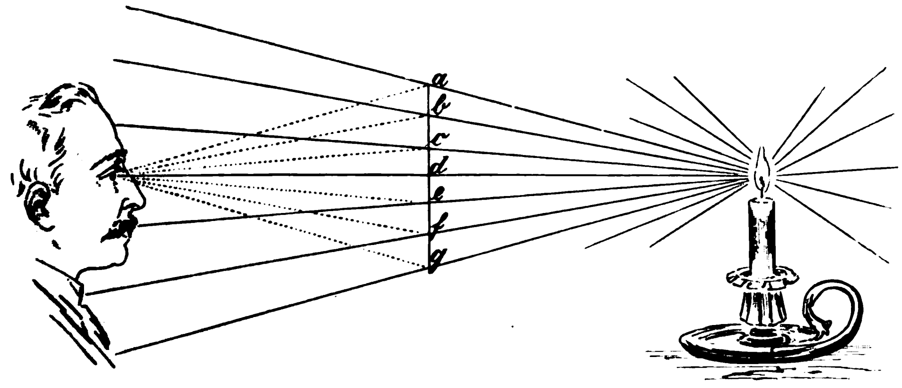
Zur Unterstützung der lichtanalysierenden Arbeit des Auges ist das Fernrohr erfunden worden. Dieses hat in seiner Hauptwirkung den Zweck, möglichst viele jener Sendboten aus dem Weltall, jener schwingenden und in unserem Sehorgan dadurch die Lichtempfindung hervorrufenden Atome aufzufangen und in unser Auge gelangen zu lassen. Das Fernrohr hat deshalb nicht nur zufällig die Form eines Trichters; es ist in Wirklichkeit ein Lichttrichter, der an seiner engen Mündung alle Lichtbewegungen, die das Objektivglas oben trafen, in die enge Öffnung unserer Pupille einführt. Diese Vermehrung der Lichteindrücke ist von größter Wichtigkeit für unsere Zwecke. Der Nervenreiz des Lichtes wird erst ausgelöst, wenn eine bestimmte Zahl jener Atomstöße, deren untere Grenze nicht überschritten werden darf, auf ein und denselben Sehzapfen unserer Netzhaut erfolgen. Je mehr schwingende Atome wir mit dem Fernrohr aufzufangen vermögen, desto stärker werden die Eindrücke, desto sicherer die Mitteilungen, desto leichter die Entzifferung der Lichtdepeschen. Wie geschieht nun jene Vermehrung der Atomstöße durch das Fernrohr? Wir brauchen, um diese wichtige Vorfrage zu entscheiden, zunächst den Himmel gar nicht zu betrachten, sondern können eine irdische Lichtquelle, die unserer Kontrolle leicht zugänglich ist, wählen, um die Eigenschaften des Fernrohrs zu ergründen und zu prüfen. Wir begeben uns damit in die Domäne des Physikers, wozu der Astronom häufig gezwungen ist.

Die Physik lehrt uns, daß die Schwingungen des Lichtes sich in ganz ähnlicher Weise fortpflanzen wie die Wellenkreise, die auf der Oberfläche des Wassers entstehen, wenn man einen Stein in dieses geworfen hat. Letzterer reißt eine Anzahl von Wasserpartikeln mit sich hinab, die aber bald darauf wieder emporschnellen müssen. Es entsteht ein Auf- und Niederpendeln, das sich den umliegenden Teilchen mitteilt. Wellental und Wellenberg bilden sich dadurch, daß bei der Fortpflanzung der Pendelbewegung vom Zentrum hinweg die Schwingungsphasen zur gleichen Zeit verschieden sein müssen. Es bilden sich auf diese Weise scheinbar fortschreitende Ringe, die immer niedriger und niedriger werden, je weiter sie sich vom Zentrum entfernen. Es ist leicht zu bestimmen, in welchem Verhältnis zur Entfernung die Höhenabnahme dieser Wellenberge steht. Da nämlich jene einmalige Wirkung im Mittelpunkte bei dem Hineinstürzen des Steines sich gleichmäßig nach allen Seiten verteilen muß, so wird die Summe der Wasserteilchen, welche die Wellenberge bilden, in jeder Entfernung die gleiche sein müssen. Die Fläche aber, auf die sich diese gleiche Summe zu verteilen hat, nimmt mit dem Quadrate der Entfernung vom Mittelpunkte zu, und in demselben Verhältnis muß deshalb auch die Höhe des Wellenberges abnehmen, wenn die Anzahl der Wasserteilchen im ganzen Ringe die gleiche sein soll wie in allen kleineren, die er umgibt. Ganz allgemein kann man deshalb den Satz aussprechen, daß jede von einem Zentrum gleichmäßig nach allen Richtungen ausstrahlende Wirkung mit dem Quadrate dieser Entfernung vom Zentrum abnehmen muß, wenn sich dieser Wirkung kein Hindernis entgegenstellt. Dies ist ein höchst wichtiger Satz, der uns am Schluß unserer Betrachtungen über die Weltordnung noch besonders interessieren wird, wenn wir uns mit den Gesetzen der Schwerkraft zu beschäftigen haben.



Wenn also irgendwo 16 Kerzen aufgestellt sind und diese in einer bestimmten Entfernung, sagen wir 1 m, eine gewisse Lichtfülle verbreiten, so werden sie in 2 m Distanz schon viermal schwächer leuchten, d. h. nur ebensoviel Licht verbreiten wie 4 Kerzen aus 1 m Entfernung. Bei 4 m haben wir die Lichtmenge bereits durch $4 \times 4 = 16$ zu dividieren; die Leuchtkraft ist hier also nur noch die von einer Kerze aus 1 m Entfernung gesehen.

Wir wissen, daß die Schwingungen des Lichtes nach allen Richtungen von dem leuchtenden Körper hinausgesandt werden in die Welt, also nicht etwa nur dort eintreffen, wo sie direkt ins Auge gelangen können. Es kommt für unsere Aufgabe alles darauf an, auch einen Teil der unser Auge nicht mehr treffenden Atome dahinein gelangen zu lassen. Dies kann offenbar nur dadurch geschehen, daß wir sie von ihrem ursprünglichen Wege ablenken. Die untenstehende Zeichnung mag dies veranschaulichen. Von der Kerze gehen Strahlen nach allen Richtungen aus und treffen die Fläche a g in den Punkten a,



Die Ausbreitung des Lichtes im Raume.

b, c, d, e, f, g. Aber nur die Strahlen, die bei d die Fläche treffen, können unmittelbar in unser Auge gelangen. Unsere bisher gesammelten Kenntnisse über die Natur des Lichtes setzen uns in den Stand, auch die anderen Strahlen dahin zu lenken, so wie es die gestrichelten Linien andeuten. Wenn das Licht nämlich wirklich nur eine Stoßwirkung von Atomen ist, so müssen sich diese letzteren genau so verhalten wie Billardkugeln, die von einer Fläche, auf die sie stoßen, zurückprallen, und zwar, wie jeder Billardspieler weiß, in genau demselben Winkel, in dem sie aufschlagen, nur nach der entgegengesetzten Seite hin. Dasselbe findet in bezug auf das Licht an der glatten Fläche von Spiegeln statt. Während die Atome von einer weißen Fläche, die bei genügender Vergrößerung immer ganz rauh erscheint, begreiflicherweise nach allen möglichen Richtungen hin zurückgeworfen werden, wie es auch bei Billardkugeln geschehen würde, wenn die Banden des Billards in demselben Verhältnis uneben wären, so werfen dagegen die Spiegel beinahe alle auffallenden Atome derart zurück, daß sie für unser Auge aus einer Richtung kommen, die genau ebensoviel von der Spiegelfläche hin abweicht, wie es die auffallenden Strahlen taten, nur nach der entgegengesetzten Richtung.

Wir können das an jedem Spiegel leicht beobachten. Die Abbildung auf S. 19 soll dies verdeutlichen. Das Licht der Lampe trifft zwar alle Punkte des Spiegels; aber wir erkennen doch ohne weiteres, daß, unter der Voraussetzung, daß alle Strahlen vom Spiegel

in demselben Winkel zurückgeworfen werden, in dem sie auffielen, doch nur ein gewisses Bündel von Strahlen unser Auge treffen kann, das den Winkel a mit der Spiegelfläche bildet. Da a gleich b sein soll, so sehen wir das Licht im Spiegel in der auf der Zeichnung angegebenen Richtung und scheinbar gerade so weit hinter dem Spiegel, als es sich in der Tat vor ihm befindet. Diese Eigenschaft der Spiegel ist bereits einer sehr fruchtbaren Anwendung fähig. In allen Fällen, wo es darauf ankommt, Licht von einem Punkte aus nach einer beliebigen Stelle zu dirigieren, ohne daß dies auf geradem Wege möglich wäre, stellt man so viele ebene Spiegel unter den gehörigen Winkeln zueinander und gegen das ankommende Licht geneigt auf, bis der letzte reflektierte Strahl tatsächlich die gewünschte Richtung angenommen hat. Derartige Anordnungen finden sich wohl an jedem größeren Fernrohr, insbesondere bei seinen Hilfsapparaten.

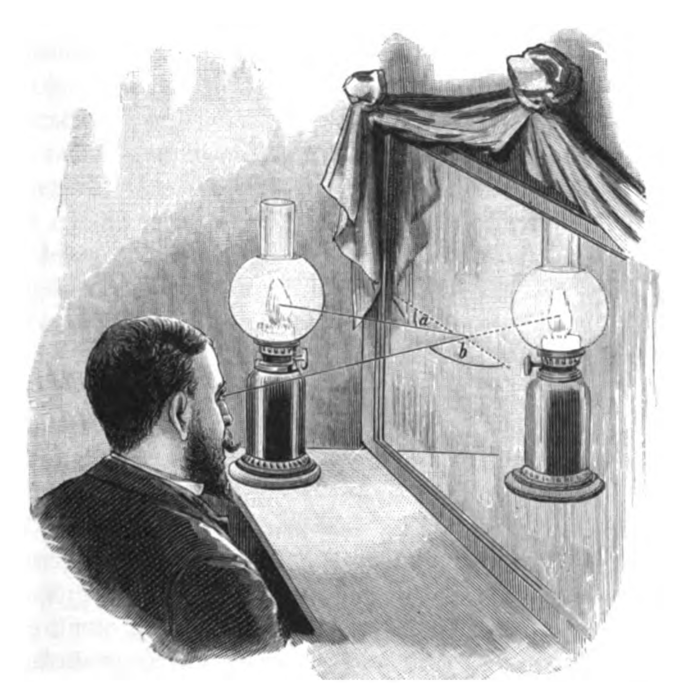
Aber auch nach einer anderen Richtung befähigen uns die gewonnenen Vorstellungen zu einer Verwertung der Eigenschaft ebener Spiegel. Hat man nämlich gekrümmte Spiegelflächen, so wird man sich sehr kleine Teile derselben „Spiegelelemente" als unendlich wenig von einer Ebene abweichend vorstellen dürfen; an diesen Spiegelelementen wird die Reflektion nach demselben Gesetz erfolgen wie an einer glatten ebenen Fläche, gleichviel ob die Lichtquelle sich in mäßigem Abstande von dem Spiegel befindet oder, was für uns der wichtigere und interessantere Fall ist, in nahezu unendlicher Entfernung. Diesen letzteren Fall, der bei astronomischen Beobachtungen allein in Betracht kommt, da die lichtausstrahlenden Objekte sämtlich in einer Entfernung sich befinden, die wir praktisch als unendlich groß ansehen können, bevorzugen wir auch noch aus dem Grunde, weil die zu erläuternden Wirkungen der das Licht sammelnden und konzentrierenden Apparate bei ihm am einfachsten sind und am leichtesten verstanden werden können.

Denken wir uns zunächst eine Reihe recht kleiner Spiegel, z. B. von quadratischer Form, auf einen Streifen Papier dicht nebeneinander so aufgeklebt, daß ihre Kanten parallel gerichtet sind, so haben wir gewissermaßen einen aus Elementarspiegeln zusammengesetzten Streifen eines Glasspiegels. Biegen wir nun den Papierstreifen so, daß er ein Stück eines Kreisbogens darstellt, so haben wir den Querschnitt eines zwar noch unvollkommenen, in seinen Wirkungen aber dem eines vollkommenen vergleichbaren Hohlspiegels. Betrachten wir jetzt die von einer unendlich weit entfernten Lichtquelle, z. B. einem Fixstern, ausgehenden, also parallel laufenden, Lichtstrahlen, so werden diese an den einzelnen ebenen Spiegelelementen stets unter dem gleichen Winkel reflektiert, unter dem sie auftreffen, und es ist unschwer einzusehen, daß bei geeigneter Stellung der Spiegel, mit anderen Worten bei einer bestimmten Krümmung des Papierstreifens (nahezu derjenigen eines Kreisbogens) sämtliche auf den Spiegel fallenden Strahlen nach ein und demselben Punkte hingeleitet werden. Man nennt diesen Punkt den Fokus oder Brennpunkt. Aus der Abbildung auf S. 20 werden die angedeuteten Verhältnisse ohne weiteres klar werden.

Es ist nun nur noch ein kleiner Schritt, um einen vollkommenen Hohlspiegel in seiner Wirkung zu verstehen; man hat lediglich die Elementarspiegel so schmal zu wählen, daß sie sich stetig aneinanderfügen und genau der Krümmung des Papierstreifens folgen, d. h. eine exakte Kurve bilden. Versuche und theoretische Untersuchungen haben gezeigt, daß ein solcher Hohlspiegel, der parallele, also von einem fernen Objekte herrührende Strahlen genau in ein und demselben Punkte vereinigen soll, die geometrisch

leicht zu konstruierende Form eines sogenannten Paraboloids haben muß, die für unseren Zweck meist kaum merklich von der genauen Kugelform abweicht. Es interessiert uns hier noch nicht, die geometrischen Eigenschaften dieses Körpers näher kennen zu lernen; genug sei es, zu wissen, daß es keine besonderen Schwierigkeiten bietet, aus spiegelndem Material Hohlspiegel von dieser Form herzustellen, die in der Tat der Himmelsforschung eine starke Stütze geboten haben.

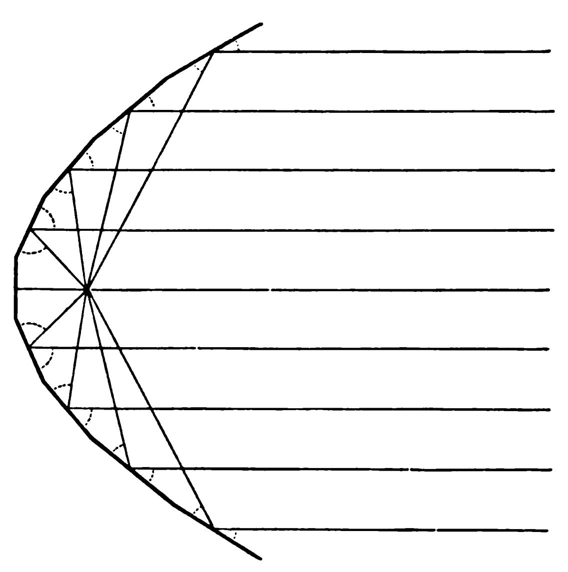
Wir verstehen jetzt ohne Mühe die lichtkonzentrierende Wirkung eines solchen Hohlspiegels, der durch wirkliche Vereinigung aller von einem Punkte eines Objektes ausgehenden Strahlen ein reelles Bild dieses Objektes erzeugt, und es ist klar, daß wir ein um so helleres Bild im Brennpunkt eines Hohlspiegels erhalten müssen, je größer wir diesen machen; denn um so viel mehr der schwirrenden Lichtatome, die von dem Objekt ausgehen, kann er auffangen und in jenem Punkte vereinigen, von wo sie nun, zusammengedrängt, leicht in unsere Pupillenöffnung eindringen. Die letztere läßt also so viel Licht bis zu unserer Netzhaut gelangen und auf sie wirken, als hätten wir ein Auge von der Größe dieses Spiegels selbst. Wir können mithin auf das leichteste die sogenannte Lichtstärke eines Hohlspiegels (s. die Abbildung, S. 20) berechnen, indem wir seinen Durchmesser mit dem unserer Pupille vergleichen. Die letztere ist zwar veränderlich; aber wir können annehmen, daß sie in der Nacht einen Durchmesser von mindestens 5 mm besitzt. Wenden wir einen Hohlspiegel von 5 cm Durchmesser an, der also zehnmal in dieser einen Dimension und $10 \times 10 = 100$mal in der Fläche größer ist als die Öffnung unseres Auges, so gelangt von diesem Spiegel auch hundertmal mehr Licht in das letztere als ohne den Spiegel.



Die Reflektion des Lichtes an ebenen Spiegeln. Vgl. Text, S. 17.

Die gegebene Auseinandersetzung bezieht sich indes nur auf den Fall, in dem die räumliche Ausdehnung eines Objektes so klein ist im Verhältnis zu seiner Entfernung, daß tatsächlich alle Strahlen in einem Punkte zusammenlaufen, also streng genommen ein durchmesserloses Bild erzeugen. Hier kann also unter dieser Voraussetzung, die für alle Fixsterne ausnahmslos erfüllt ist, von einer vergrößernden Wirkung des Hohlspiegels nicht gesprochen werden. Anders aber liegt es bei den Gliedern unseres Sonnensystems und bei einer Reihe anderer himmlischer Objekte, die flächenhafte Bilder ergeben. Um rein

geometrische Darstellungen zu vermeiden, wollen wir einen leicht anzustellenden Versuch zu Hilfe nehmen, durch den wir auf direktem Wege auch einen Begriff von der vergrößernden Wirkung eines Hohlspiegels erlangen werden. Erzeugen wir von der Sonne, deren Durchmesser unserem unbewaffneten Auge unter einem Winkel von einem halben Grad erscheint, ein reelles Bild vermittelst eines Hohlspiegels, dessen Brennweite 25 cm beträgt, so ergibt eine Ausmessung dieses Bildes, daß sein Durchmesser 2,2 mm groß ist. Selbstverständlich kann man dieses durch den Hohlspiegel erzeugte reelle Bild aus jeder beliebigen Entfernung betrachten. Deutlich werden wir es aber nur sehen, wenn wir unser Auge gerade so weit von dem Brennpunkte des Hohlspiegels, in dem sich dieses Bild befindet, halten, als nötig wäre, um einen wirklichen Gegenstand hier deutlich zu sehen. Diese Entfernung deutlicher Sehweite ist aber für jedes Auge verschieden. Für ein normales Auge können wir die Entfernung deutlicher Sehweite etwa zu 25 cm annehmen.



Strahlengang in einem Hohlspiegel. Vgl. Text, S. 18 u. 19.

Betrachten wir nun unser Sonnenbild von 2,2 mm Durchmesser aus dieser Entfernung, so erscheint es diesem wieder unter einem Winkel von einem halben Grade. In der normalen Sehweite ist mithin das Bild der Sonne, das durch einen Hohlspiegel von der bezeichneten Brennweite hergestellt wird, scheinbar gerade so groß wie die direkt betrachtete Sonnenscheibe; es findet demnach keine Vergrößerung statt. Wenn der Versuch mit einem Spiegel von sonst gleicher Größe, aber von 1 m Brennweite wiederholt wird, so ist der Durchmesser des entstehenden Sonnenbildchens viermal so groß als vorher, erscheint folglich auch unter einem viermal größeren Winkel als die Sonnenscheibe bei direkter Betrachtung. Wir können deshalb von einer vierfachen Vergrößerung sprechen. Der Effekt, den wir durch die Zuhilfenahme des zweiten Hohlspiegels erzielen, ist also, wenn wir seine Wirkung in etwas anderem Sinne ausdrücken, genau der gleiche, als wenn auf irgend eine Weise es ermöglicht worden wäre, die Sonne selbst bis auf den vierten Teil ihres Abstandes uns zu nähern.

In derselben Art können wir uns den Versuch mit Spiegeln von gleicher Größe, aber verschiedener Krümmung, d. h. verschiedener Brennweite, fortgesetzt denken; immer werden wir finden, daß die Vergrößerung des Sehwinkels nur von letzterer abhängt, während die Lichtmenge, die ein Spiegel sammelt, lediglich durch die Größe des Spiegels bedingt wird, wie wir früher sahen. Die Vergrößerungszahl selbst erhalten wir, wenn wir die Brennweite, in Zentimetern ausgedrückt, durch 25 (die Entfernung deutlicher Sehweite) dividieren: z. B. ein Spiegel von 5 m Brennweite ergibt eine 500 : 25 = 20fache Eigenvergrößerung (im Gegensatz zu der später hinzukommenden Okularvergrößerung); die

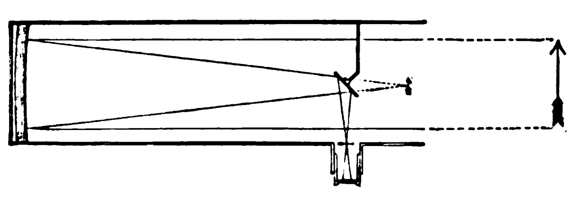
scheinbare Vergrößerung in der Fläche beträgt natürlich $20 \times 20 = 400$. Ist der Spiegel etwa so gekrümmt, daß er scheinbar das Objekt im Durchmesser zehnmal vergrößert, während der Durchmesser des Spiegels denjenigen der Pupille um das Zehnfache übertrifft, so muß sich das Licht desselben auf eine $10 \times 10 = 100$mal größere Fläche ausbreiten; da aber im ganzen auch nur hundertmal soviel Licht durch den Spiegel in unser Auge befördert wird, so ist die Flächenhelligkeit des Bildes vom Objekt gerade ebenso groß wie bei der Betrachtung desselben mit dem bloßen Auge, nur haben wir durch den Spiegel den Vorteil erreicht, daß es zehnmal größer erscheint.

Diese Beziehungen zwischen der Lichtstärke und der Vergrößerung richtig aufzufassen, ist von der größten Wichtigkeit für das Verständnis der Fernrohrwirkungen. Der Laie ist meistens in der falschen Meinung befangen, daß die großen Fernrohre hauptsächlich möglichst starke Vergrößerungen der Himmelsobjekte herbeiführen sollen, während es der Astronom in sehr vielen Fällen beklagt, daß sie nicht anders als vergrößernd hergestellt werden können. Denn sehr häufig wünscht er, ausschließlich die Lichtfülle des unerreichbaren Objektes, das er nicht künstlich beleuchten kann wie der Mikroskopiker das seinige, möglichst zu verstärken, während ihm an dessen Vergrößerung wenig oder gar nichts liegt.

Das Maximum der Vergrößerung, die ein himmlisches Objekt verträgt, hängt häufig von der Lichtstärke des angewendeten Fernrohres ab. Wir können Krümmung und Größe des Spiegels so wählen, daß die Lichtstärke jedes Teiles des Objektes im Fernrohre geringer wird als ohne Anwendung des letzteren. Wenn z. B. der Spiegel die Lichtfülle nur verzehnfacht, während die Vergrößerung zugleich eine zehnfache ist, das Licht sich also auf eine hundertfach größere Fläche zu verbreiten hat, so dringen auf jeden Punkt unserer Netzhaut im Auge zehnmal weniger lichtschwingende Atome ein. In einem solchen Spiegel, der nach den vorangegangenen Erörterungen etwa einen Durchmesser von 15 mm haben müßte, würden daher Objekte gänzlich verschwinden, die mit dem bloßen Auge noch ganz gut sichtbar sind, wenn eben ihre Lichtfülle nicht ausreicht, um diese zehnfache Abschwächung ertragen zu können. Ein so kleines Spiegelteleskop würden wir also immerhin noch mit einigem Vorteil auf den Mond und die Planeten anwenden können, die man dadurch zehnmal größer, also genauer, mit mehr Details ausgestattet, sehen könnte, denn diese Objekte strahlen Licht genug zu uns her. Wenden wir es aber irgend einer Stelle des Fixsternhimmels zu, so würden wir darin manchen Stern vermissen, den das unbewaffnete Auge sehr deutlich erkennt. Man würde in einem solchen Fernrohre sogar nur die Sterne bis zur sogenannten zweiten Größenklasse sehen, einige 70 statt 6000, die das bloße Auge sieht, wenn diese einen meßbaren, also vergrößerungsfähigen Durchmesser hätten. Daß dies nicht der Fall ist und deshalb die geschilderten Verhältnisse sich doch günstiger gestalten, ist für die obigen theoretischen Betrachtungen gar nicht von Belang.

Wir können aber dieses Verhältnis zwischen Lichtstärke und Vergrößerung innerhalb der durch die technische Ausführbarkeit gesteckten Grenzen beliebig wählen. Nehmen wir z. B. einen Hohlspiegel von 1 m Durchmesser (und es sind deren in der Tat zu astronomischen Zwecken bis zu 1,80 m Durchmesser ausgeführt worden, worauf wir später noch zurückkommen), der so wenig gekrümmt ist, daß er zehnmal vergrößert, so gewinnen wir sofort in bezug auf die Lichtfülle einen ungemein großen Vorsprung. Ein solcher Spiegel hat einen um das Zweihundertfache größeren Durchmesser als die Pupille in der Nacht; es gelangt also im ganzen dadurch $200 \times 200 = 40{,}000$mal mehr Licht ins

Auge als unter gewöhnlichen Umständen. Da nun der Spiegel nur zehnmal vergrößern soll, muß sich also dieses Licht auf eine hundertmal größere Fläche ausbreiten; wir haben folglich auf jedem Punkte des vergrößerten Bildes immer noch 40,000 : 100 = 400mal mehr Licht, als das bloße Auge empfängt. Man kann in einem solchen Fernrohr also noch Sterne sehen, welche 400mal weniger Licht ausstrahlen als diejenigen, die man eben noch mit bloßem Auge erkennt. Das würden etwa Sterne der zwanzigsten Größenklasse sein, deren man Hunderte von Millionen am Himmel mit Hilfe eines solchen Sehwerkzeuges würde zählen können. In Wirklichkeit hat man freilich diese Lichtfülle noch nicht ganz erreichen können, da bei so schwachen Vergrößerungen andere Übelstände, wie namentlich die dadurch notwendig werdende bedeutende Länge des Fernrohres, vorläufig noch Schranken setzen. Denn wie aus dem Vorangegangenen erhellt, muß, je größer der Spiegel das Objekt zeigen soll, auch um so weiter der Punkt von ihm entfernt sein, in dem die gesammelten Strahlen alle wieder zusammentreffen, in dessen Nähe sich mit anderen Worten das Auge befinden soll. Wenn man nun auch bereits Hohlspiegel gebaut hat, bei deren Anwendung man das Auge nicht weniger als 16 m von ihm entfernt halten muß, so stellen sich dem Bau von Fernrohren mit so turmartigen Dimensionen schließlich doch allzu viele Schwierigkeiten entgegen.

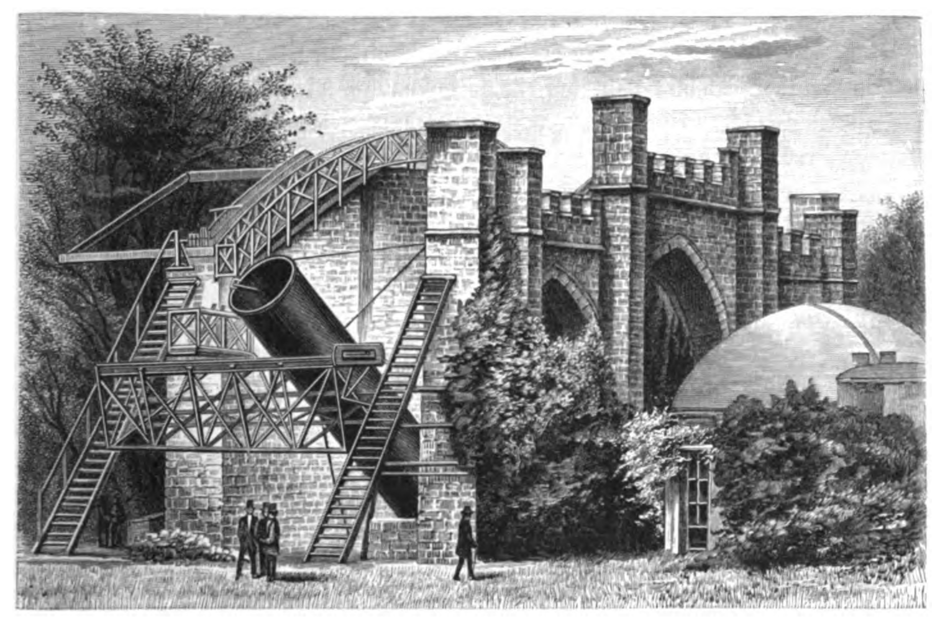


Strahlengang im Spiegelteleskop.

Die unmittelbare Betrachtung des mit Hilfe eines Hohlspiegels erzeugten Brennpunktbildes würde einigermaßen unbequem sein. Um daher allen Ansprüchen möglichst gerecht zu werden, die man zur Besichtigung der verschiedenen Himmelsobjekte an ein Fernrohr zu stellen hat, ist man auf einen recht einfachen Ausweg gekommen. Man vergrößert nämlich das durch den Hohlspiegel in seinem Brennpunkt entworfene Bild nachträglich, indem man es durch ein gewöhnliches Vergrößerungsglas, durch eine Lupe, ansieht. Dies wird dadurch bewerkstelligt, daß man zunächst nahe dem Brennpunkt des großen Spiegels einen viel kleineren ebenen Spiegel so aufstellt, daß die vom anzuschauenden Gegenstande herkommenden Strahlen durch den kleinen nur in sehr geringem Maß abgehalten werden. Letzterer ist in der Weise schräg zu den vom großen Spiegel auf ihn fallenden Strahlen gestellt, daß ein Auge, das ganz außerhalb des Strahlenbereiches des großen Spiegels seitlich auf den ebenen Spiegel blickt, das dort entstandene Brennpunktbild sehen kann. Hier nun werden in den Gang der Strahlen beliebig stark vergrößernde Lupen eingeschaltet, je nach der Beschaffenheit des Objektes. Die obenstehende Abbildung wird die Sache unmittelbar verständlich machen. Jene Lupe nennt man bekanntlich das Okular des Fernrohres. Durch diese Kombination kann man mit ein und demselben Fernrohre den verschiedensten Ansprüchen genügen; man muß nur darauf sehen, daß seine ursprüngliche Vergrößerung eine möglichst geringe, die Lichtstärke also eine möglichst große ist. Man steigert dann die Vergrößerung nach Belieben durch die Okulare, wobei die Helligkeit der betrachteten Objekte eine entsprechende Verminderung erfährt. Das unumgängliche Erfordernis bleiben also immer noch möglichst große Spiegel.

Es erübrigt noch, die vergrößernde Wirkung einer solchen Verbindung von Objektivspiegel und Okular zu betrachten und ihren Betrag zu ermitteln. Eine Lupe läßt einen

Gegenstand so viel mal größer erscheinen, als ihre Brennweite, nach Zentimetern gemessen, in der Zahl 25 (deutliche Sehweite) enthalten ist. Nehmen wir ihre Brennweite gleich f′, an, so ergibt sich eine 25 : f′fache Vergrößerung. Vorher fanden wir aber, daß die Eigenvergrößerung des Hohlspiegels von der Brennweite f näherungsweise dargestellt ist durch die Zahl f : 25. Die Gesamtvergrößerung der bezeichneten Kombination ist mithin $\frac{f}{25} \times \frac{25}{f'} = \frac{f}{f'}$, sie wird also gefunden, wenn man mit der Brennweite des Okulars in die des Spiegels dividiert; z. B. gibt ein Spiegel von 5 m und ein Okular von 5 cm Brennweite eine 500 : 5 gleich 100fache Vergrößerung. Durch Verkleinerung der Brennweite der Okularlupe kann diese Vergrößerung theoretisch beliebig weit, praktisch allerdings nur bis zu einer gewissen Grenze gesteigert werden. Soll über diese Grenze hinausgegangen werden, so bleibt nichts übrig, als die Spiegelbrennweite größer, seine Krümmung geringer zu wählen.



Teleskop Leviathan des Lord Rosse in Birr Castle bei Parsonstown, Irland.

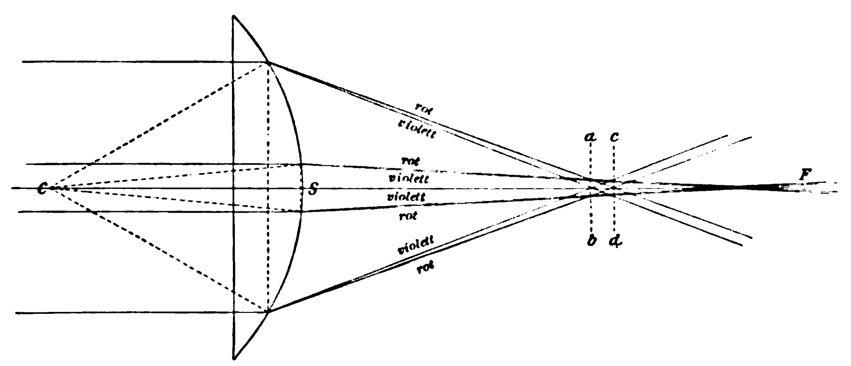
Das bisher Gesagte enthält alles, was zum Verständnis der optischen Wirkung der Spiegelteleskope nötig ist, die als Hilfsmittel der Himmelsforschung berühmt geworden sind. Bis in den Anfang des 19. Jahrhunderts hinein hat man von der Erbauung solcher Spiegelteleskope in immer größeren Dimensionen den Fortschritt unserer Kenntnis des gestirnten Himmels hauptsächlich abhängig erachtet. Die beiden berühmtesten dieser Sehwerkzeuge sind das 12 m lange Riesenteleskop Herschels, mit dem der große Beobachter Tausende von interessanten Entdeckungen machte, und das noch größere (s. die obenstehende Abbildung) des Lord Rosse, das heute noch mit vielem Erfolge von Birr Castle bei Parsonstown (Irland) aus die Tiefen des Universums durchmustert. Dieses Fernrohr mißt 16 m, und sein Spiegel hat einen Durchmesser von 183 cm, also nahezu 2 m. Dabei ist der Spiegel so wenig gekrümmt, daß zwischen einer flachen Scheibe,

die man darüber legen würde, und dem tiefsten Punkte des Hohlspiegels nur ein Raum von 13 mm Höhe bleiben würde. Da nun der Spiegel einen 366mal größeren Durchmesser besitzt als unsere Pupille in der Nacht, so muß die gesamte Lichtmenge, die er in unser Auge befördert, 366mal 366 oder rund 134,000mal größer sein als die, welche ohne Anwendung des Riesensehwerkzeuges auf unsere Netzhaut gelangt. Wenn wir also durch die Kombination von Spiegel und Okular eine 100fache lineare, also 10,000fache Flächenvergrößerung anwenden, so sehen wir dabei das Objekt noch immer etwa 13mal heller als mit dem bloßen Auge.

Wir haben vorhin Vergrößerungsgläser eingeführt, ohne zu erklären, wie das Vergrößern solcher Gläser nach unseren oben entwickelten Ansichten über das Wesen des Lichtes überhaupt zustande kommen kann. Glas gehört zu den sogenannten durchsichtigen Körpern, durch die das Licht an sich unvermindert durchgehen kann, allerdings nicht ohne eine Veränderung seiner Richtung zu erfahren. Wir wollen den Vorgang, der sich dabei abspielt, wegen der Schwierigkeit, ihn ebenso anschaulich wie bei der Wirkung eines Spiegels darzustellen, nicht im einzelnen verfolgen. Wer in diese theoretischen Dinge tiefer einzudringen wünscht, dem sei des Verfassers Werk „Die Naturkräfte, ein Weltbild der physikalischen und chemischen Erscheinungen", im gleichen Verlage erschienen wie das vorliegende, empfohlen. Hier muß genügen, sich zu denken, daß die schwingenden Lichtätheratome beim Anprall auf die Atome oder Moleküle, aus denen alle Stoffe zusammengesetzt sind, eine Ablenkung von ihrem Wege erfahren (übrigens je nach der Richtung, in der sie ankommen, in verschiedenem Betrage), dann aber im Glase selbst geradlinig weitergehen. Beim Austritt aus dem durchsichtigen Medium findet eine erneute Ablenkung, aber in dem entgegengesetzten Sinne, statt. Abhängig ist zudem die Größe der Ablenkung von der besonderen Beschaffenheit des durchsichtigen Mediums, so daß bei sonst gleicher Gestaltung, beziehentlich Begrenzung verschiedene Substanzen parallel ankommende Strahlen zwar in einem Punkte zur Vereinigung bringen, daß diese Vereinigungs- oder Brennpunkte aber in den verschiedensten Abständen von dem lichtbrechenden Körper liegen können. Ein Glas, das die genannte Eigenschaft hat, wird man füglich ein Brennglas nennen können; es wird bekanntlich durch Teile von Kugeloberflächen gleicher oder verschiedener Krümmung begrenzt und gehört zu den „Linsen", die in mannigfachen Formen für optische Zwecke Verwendung finden.

Aber es kommt hier noch eine merkwürdige Wahrnehmung hinzu, die für unsere himmlischen Forschungszwecke von der größten Wichtigkeit geworden ist. Es zeigt sich nämlich, daß die verschiedenen Lichtsorten in verschiedener Weise von den durchsichtigen Stoffen durchgelassen werden. Während vor einem Hohlspiegel alle Farben des Objektes in ein und demselben Brennpunkte wieder zusammenkamen, schießen bei einem Brennglase die roten Strahlen ein Stück übers Ziel hinaus, die violetten bleiben dagegen ein wenig gegen den Durchschnitt zurück. Beim Anprall der Lichtätheratome erleiden offenbar die kleinsten Lichtschwingungen, die violetten, den größten Kraftverlust, die größten aber, welche die meiste lebendige Kraft besitzen, die roten, den kleinsten, also auch eine geringere Ablenkung von der ursprünglichen Richtung als die ersteren. Die Folge davon ist, daß das Bild, das von einem violetten Gegenstande hinter einer Glaslinse entsteht, sich dieser näher befindet als das von einem roten, wenn der Gegenstand in beiden Fällen in Wirklichkeit gleichweit von ihr absteht. Da nun das weiße Licht aus einem Gemisch sämtlicher Farben besteht, so wird ein Brennglas hinter sich nicht ein Bild von einem

vor ihm befindlichen weißen Gegenstand entwerfen, sondern eine unendliche Menge von Bildern, von denen jedes nur eine einzige Farbe besitzt; und diese Bilder werden so geordnet sein, daß das violette zuerst kommt, zuletzt das rote. Die untenstehende Abbildung veranschaulicht dies. Wir haben ein plankonvexes Brennglas vor uns, das seinen Scheitelpunkt in S und den Krümmungsmittelpunkt seiner gewölbten Seite in C hat. Von links fallen die Strahlen zuerst parallel ein. Die am Rande das Glas durchdringenden Strahlen werden stärker gebrochen als die in der Nähe des Scheitelpunktes, die Zentralstrahlen, weil erstere eine größere Neigung gegen die Austrittsfläche haben, wo die Brechung stattfindet. Im Austrittspunkte trennen sich die verschiedenfarbigen Strahlen; die violetten vereinigen sich da, wo der Zentralstrahl CSF von der Linie a b geschnitten wird, die roten aber erst bei c d. Es wird sich auf a b ein violetter Punkt abbilden, der von farbigen Kreisen umgeben ist; der größte derselben ist der rote. Bei c d dagegen entsteht ein roter



Kugelgestaltfehler und Farbenabweichung einer Linse.

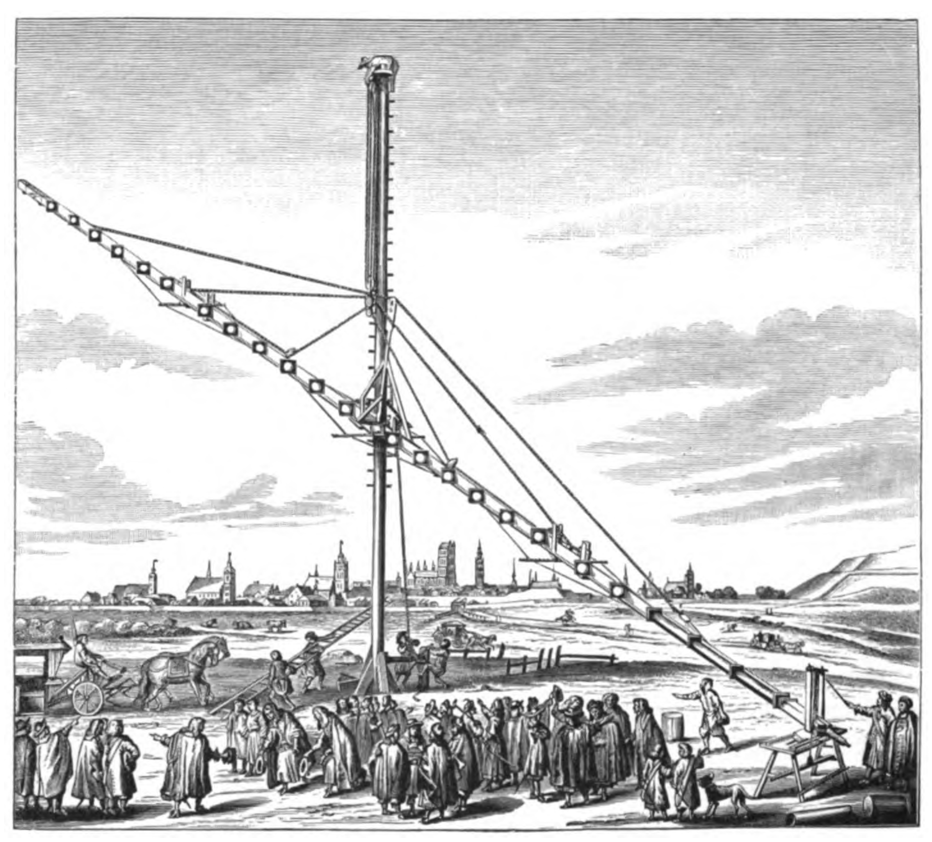
Punkt, von farbigen Kreisen umgeben, die in umgekehrter Reihenfolge geordnet sind: der violette Kreis ist hier der größte. Die von der Linse erzeugten verschiedenfarbigen Bilder werden also übereinander greifen müssen und farbige Ränder bekommen, die dem deutlichen Sehen äußerst hinderlich sind. Das Brennglas ist nicht „achromatisch".

Dieser Übelstand der Farbenzerstreuung der Brenngläser war lange Zeit ein unüberwindliches Hindernis für die Verbesserung der Fernrohre, während der nämliche Übelstand dann, als hier das Hindernis endlich überwunden war, auf einem ganz anderen Gebiete von unschätzbarer Nützlichkeit für den Fortschritt unserer Erkenntnis des Weltgebäudes werden sollte, auf dem der Spektralanalyse. Während sich einstmals mancher Himmelsforscher diese lästige Farbenzerstreuung aus der Welt gewünscht hätte, war sie es doch, die in ungeahnter Weise unseren geistigen Blick bis tief in die innerste Struktur unermeßlich ferner Weltkörper eindringen ließ.

Wegen dieser Farbenzerstreuung der Brenngläser sind die Hohlspiegelfernrohre lange denen mit Objektivgläsern vorgezogen worden. Man nannte die Fernrohre mit Hohlspiegeln Reflektoren, d. h. Strahlen zurückwerfende, dagegen die eine direkte Durchsicht gestattenden Fernrohre Refraktoren, Strahlen brechende Instrumente.

Es ließ sich jedoch nicht verkennen, daß diese Refraktoren, abgesehen von dem genannten Nachteile, vor den Reflektoren große Vorzüge besitzen würden. Jeder Spiegel, von Menschenhand unvollkommen hergestellt, verschluckt verhältnismäßig viel Licht, viel

mehr jedenfalls als ein Brennglas von mittlerer Größe. Wir haben aber vorhin gesehen, daß es dem Astronomen in den weitaus meisten Fällen hauptsächlich auf größtmögliche Lichtfülle seines Sehwerkzeuges ankommt. Man hat deshalb, seit es Fernrohre gibt (das erste wurde 1610 von Galilei gegen den Himmel gerichtet), diesen Übelstand der Farbenzerstreuung zu beseitigen oder zu umgehen getrachtet. Unglücklicherweise hatte Newton, von einer falschen Voraussetzung ausgehend, seinerzeit bewiesen, daß die



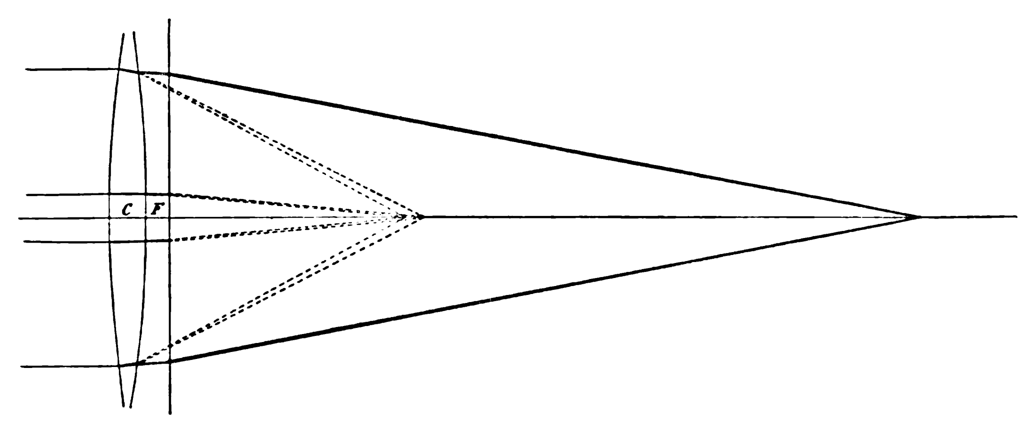
Großes Fernrohr Hevels in Danzig. Aus Hevels „Machina coelestis“. Vgl. Text, S. 27.

Konstruktion eines achromatischen Fernrohres eine theoretische Unmöglichkeit sei. Man gab es deshalb unter dem Schwergewicht einer solchen Autorität gänzlich auf, dem Problem direkt zu Leibe zu gehen, sondern versuchte nur, die einmal unvermeidliche Farbenzerstreuung für die Beobachtung möglichst wenig störend zu machen. Dies konnte nur durch Gläser geschehen, durch welche die Lichtstrahlen möglichst wenig konvergierend gemacht werden, um die Größe des roten von dem violetten Bilde möglichst wenig verschieden, die Bilder möglichst wenig übereinander greifend zu erhalten: um so weniger unscharf erschien das Gesamtbild. Hierdurch aber vergrößert sich seine Brennweite. Man war also wieder genötigt, sehr lange Fernrohre zu bauen.

Schließlich war es gar nicht mehr möglich, zwischen dem vorderen, das Bild erzeugenden Brennglas, in diesem Fall Objektiv genannt, und der Lupe, mit der man

auch bei den Refraktoren das Bild betrachtet und vergrößert, dem Okular, eine metallische oder überhaupt eine feste Verbindung herzustellen. Man hing das Objektiv irgendwo auf, ließ seine Strahlen frei durch die Luft oder höchstens durch einige an Latten befestigte Blenden fallen und suchte unterhalb des Objektivs mit dem Okular das Bild. So entstanden die sogenannten Luftfernrohre, die man im 17. Jahrhundert bis zu einer Brennweite von 200 Fuß ausgeführt hat. Die Abbildung S. 26 stellt das große in dieser Weise konstruierte Fernrohr des Danziger Ratsherrn Hevel dar, wie er es selbst gezeichnet hat. Das Objektiv wurde oft auch nur an einem hohen Mastbaum aufgehängt und durch Schnüre einigermaßen gerichtet; unten aber mußte man trotzdem oft recht lange mit dem Okulare herumsuchen, bis man seinen Gegenstand fand.

Alle diese Schwierigkeiten wurden mit einem Schlage gehoben, als im Jahre 1758 Dollond, trotz der theoretischen Negation Newtons, das erste „achromatische“



Achromatische Linsenkombination (Fernrohrobjektiv).

Fernrohr baute. Dessen Prinzip ist ungefähr folgendes. Es war schon längst bekannt, daß die verschiedenen durchsichtigen Stoffe je nach ihrer optischen Dichte die Lichtstrahlen verschieden brechen, d. h., daß beispielsweise zwei Brenngläser, die genau dieselbe Form, dieselbe Krümmung ihrer Flächen besitzen, doch verschiedene Brennpunkte haben, wenn sie aus verschieden dichten, also auch verschieden schweren Glasarten hergestellt sind. Die schwereren Gläser vereinigen die Strahlen näher bei der Linse als die leichteren. Obwohl nun beide Arten die Farben zerstreuen, tun dies doch die dichteren Medien in der Regel in sehr viel stärkerem Maße als die leichteren, die verschiedenen farbigen Bilder liegen also bei jenen weiter auseinander.

Wählt man mithin zwei Gläser von verschiedenem Brechungsvermögen, so kann man es einrichten, daß wenigstens einige der verschiedenfarbigen Bilder derart übereinander fallen, daß immer ein von der einen Linse erzeugtes mit einem anderen, von der zweiten Linse erzeugten, sogenannte komplementäre Farben besitzt, die sich gegenseitig beinahe zu Weiß ergänzen. Dies konnte, wie nach dem Vorhergegangenen leicht zu verstehen ist, nur durch das verschiedene Brechungsvermögen der Glasarten erreicht werden.

Die obenstehende Abbildung erläutert dies. C ist eine Linse aus sogenanntem Crownglas, „bikonvex“ geschliffen. An diese legt sich unmittelbar eine andere aus dem schweren.

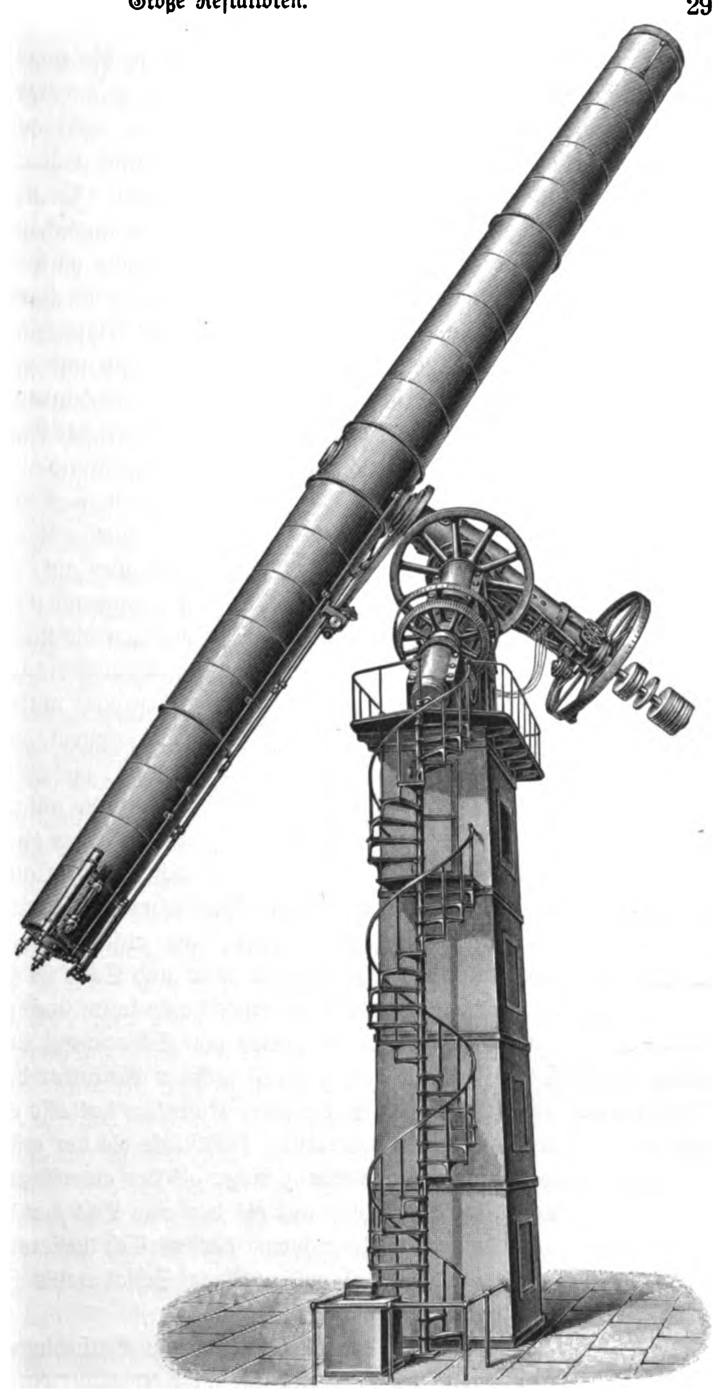
bleihaltigen Flintglas, deren zweite Fläche gewöhnlich nahezu eben gewählt wird; diese Linse ist also „plankonkav". Die Crownglaslinse allein würde die Farben so zerstreuen, wie es die den Gläsern nächsten gestrichelten Strahlenbündel veranschaulichen; durch die Flintglaslinse dagegen wird der Strahlengang so beeinflußt, daß in dem entfernteren Schnittpunkte die meisten farbigen Strahlen sich vereinigen. Für gewisse Gebiete rings um den Zentralstrahl herum ist die Vereinigung aller Strahlen möglich; für die Randstrahlen aber muß auch hier ein Fehler übriggelassen werden. Die Verhältnisse der Zeichnung sind so gewählt, wie sie für astronomische Fernrohre üblich sind, nur mußten alle Längen, der Raumverhältnisse wegen, zehnfach verkürzt werden, mit Ausnahme der Linsendimensionen.

Die Abweichung der Randstrahlen von den Zentralstrahlen, die immer verschiedene Brennweiten haben müssen (s. die Abbildung auf S. 25), nennt man die sphärische Aberration, weil sie durch die als Kugelabschnitte geschliffenen Gläser entsteht. Die Optiker der Gegenwart bemühen sich nun, durch die sinnreichsten Kombinationen der Flächen und der Glasarten Objektive herzustellen, die, soweit es geht, beiden Anforderungen gerecht werden, also einerseits möglichst die Farben vereinigen, aber anderseits auch die Bilder bis an den Rand des Gesichtsfeldes möglichst scharf zeichnen. Da dies, wie erwähnt, nicht ganz zu vereinigen ist, läßt man etwas von beiden Fehlern, der sphärischen und der achromatischen Abweichung, übrig, wodurch beide auf ein im allgemeinen unschädliches Minimum reduziert werden. Hierdurch ist man in den Stand gesetzt, Fernrohre von viel kürzerer Brennweite zu bauen als ehemals, die doch an optischer Kraft und Schärfe der Definition, d. h. der Zeichnung, die älteren unbequemen Werkzeuge weit übertreffen.

Die beiden größten Gläser, die in der geschilderten Weise bisher fertiggestellt worden sind, haben Durchmesser von 36 und 40 englischen Zoll oder 914 und 1020 mm. Das erstere ist im Refraktor der Lick-Sternwarte auf dem Mount Hamilton, einem 1286 m hohen Vorberge der Sierra Nevada in Kalifornien, verwendet. Dieses mächtige Instrument hat gleichwohl nur eine Brennweite von 15 m, d. h. reichlich viermal weniger als das früher erwähnte Luftfernrohr, während es doch erstaunlich viel mehr leistet. Der „Vierzigzöller", wie man sich auszudrücken pflegt, befindet sich auf dem Yerkes-Observatorium bei Chicago (s. die Abbildung, S. 29). Es hat eine Brennweite von 18 m.

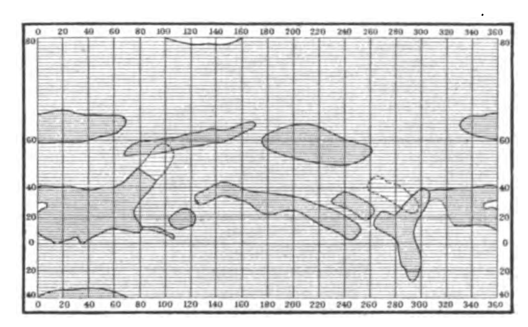
Alle diese Sehwerkzeuge bringen uns den Sternen um ebensoviel näher, als sie vergrößern. Dies ist leicht an irdischen Objekten mit völliger Sicherheit festzustellen. Wir können es ausmessen, wenn wir es nicht ohne weiteres glauben, daß irgend ein Gegenstand genau ebensoviel größer erscheint, als wir uns ihm nähern. Wenn z. B. eine Schützenscheibe aus 10 m Entfernung gerade so groß ist, daß sie von einem Zehnpfennigstück verdeckt wird, das wir in deutlicher Sehweite vom Auge halten, so werden wir ein genau halb so großes Geldstück nehmen müssen, um dieselbe Scheibe gerade zu bedecken, wenn wir sie in 20 m Entfernung bringen, ein dreimal kleineres bei Vergrößerung der Entfernung um das Dreifache, und so weiter. Sind wir also imstande, einen Himmelskörper um das Fünfhundertfache zu vergrößern, so ist dies gleichbedeutend mit unserer Annäherung an ihn um das Fünfhundertfache seiner wahren Entfernung von uns. So werden wir z. B. später finden, daß der Mond von uns rund 350 000 km absteht; mit einem fünfhundertmal vergrößernden Fernrohre nähern wir uns ihm also bis auf 700 km.

Schon bei den größeren Fernrohren der Gegenwart tritt uns der störende Einfluß unserer Lufthülle in der empfindlichsten Weise entgegen. Die Luftschicht bildet ein weiteres Vergrößerungsglas, das die Natur uns noch über unsere Fernrohre breitet, denn alle durchsichtigen Stoffe lenken die Lichtstrahlen von ihrem geraden Weg ab. Die Strahlen der Sterne, die aus dem leeren Weltraum in unsere Atmosphäre eindringen, werden dabei ebenso gebrochen, wie bei ihrem Eindringen in das Objektivglas, nur, entsprechend der geringeren Dichtigkeit der Luft, in geringerem Maße. Diese sogenannte **atmosphärische Refraktion** wird bei allen astronomischen Untersuchungen genau berücksichtigt; wir werden später davon noch eingehender zu sprechen haben. Wäre nun die Atmosphäre mit einem optischen Glase wirklich stets zu vergleichen, so böte dies dem Sehen weiter keine Schwierigkeiten dar, es würde nur etwas Licht mehr als sonst verschluckt werden. Leider aber sehen wir, daß wir es gewissermaßen mit einem sehr schlecht geschmolzenen, sehr schlecht gekühlten Glase zu tun haben. In einem solchen



Der 40zöllige Refraktor des Yerkes-Observatoriums bei Chicago. Nach Photographie. Vgl. Text, S. 28.

bemerkt man oft sogenannte Schlieren: Stellen, die zwar nahezu ebenso durchsichtig sind wie der übrige Teil, aber das Licht offenbar in anderer Weise durchlassen, indem sie die Gegenstände verzerren. Wir wissen, daß dies von der ungleichen Dichtigkeit des Glases an diesen Stellen herrührt, wodurch die Strahlen hier anders gebrochen werden. In der Luft sind diese Schlieren noch dazu beweglich. Da nun, wenn eine solche Luftschliere vorüberzieht, der Lichtstrahl von seiner ursprünglichen Richtung abweicht, dann aber sogleich wieder zurückkehrt, weil jene Luftzustände gänzlich unbeständig sind, so erscheint das Bild eines ausgedehnteren Himmelsobjektes im stark vergrößernden Fernrohre beständig wallend, als ob es flüssig wäre. Namentlich die Sonne zeigt diese Erscheinung meistens; sie ist ja die Quelle der Erwärmung der Luft und auch, mit der unebenen Gestalt der Erdoberfläche, die Ursache der beständig wechselnden Zustände unserer Atmosphäre. Ihr Rand sieht oft im Fernrohr aus wie eine zerfetzte Fahne, die im Winde flattert. Auch die Fixsterne, die für uns absolute, durchmesserlose Punkte sind, schießen dann Strahlen nach allen Richtungen von sich aus.



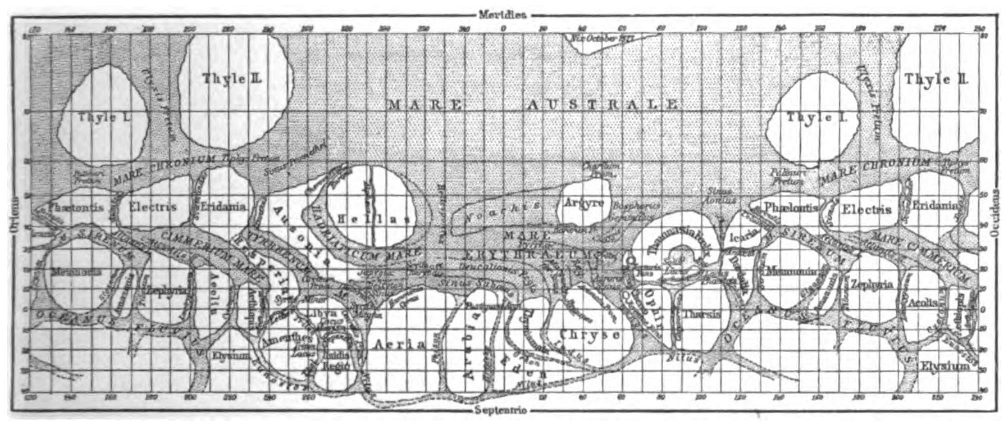
Mars, nach Washingtoner Beobachtungen aus dem Jahre 1877. Nach Flammarion, „Der Planet Mars".

Dieser Übelstand tritt natürlich um so störender auf, je stärkere Vergrößerungen wir anwenden, denn in demselben Maße werden die Verzerrungen mit vergrößert. Auch durch die größere Lichtstärke der großen Fernrohre wird jene störende Wirkung erhöht, indem dadurch die Helligkeitsdifferenzen, welche die Luftschlieren erzeugen, gleichzeitig mit verschärft werden. Wir verstehen daher auch die auffallende Tatsache, daß in bezug auf das deutliche Sehen von Einzelheiten bei genügend hellen Objekten Fernrohre mittlerer Dimensionen oft viel vorzüglichere Leistungen zu verzeichnen haben als unsere modernen Riesensehwerkzeuge. Werfen wir deswegen einen Blick auf die oben und Seite 31 stehenden Abbildungen des Planeten Mars. Die eine ist mit Hilfe eines heute kaum noch zu den mittelgroßen Fernrohren zu zählenden achtzölligen Objektivs von Schiaparelli in Mailand entworfen, die andere um dieselbe Zeit mit dem damals größten Refraktor der Welt, einem „Vierundzwanzigzöller" in Washington. Der letztere Refraktor hat also ein dreimal größeres Glas, folglich eine neunmal größere theoretische Lichtstärke als der erstere. Aber wie ungemein viel mehr Details sah der Mailänder Forscher als der amerikanische.

Zwar ist die Größe des Glases nur als der eine Teil der hier zusammenkommenden nachteiligen Einwirkungen zu bezeichnen; der wirklich bessere Luftzustand in Mailand, endlich nicht zum mindesten das geübte Auge Schiaparellis sind weitere wichtige Faktoren für jene vorzüglichere Leistung.

Ein guter Luftzustand ist die allerwesentlichste Vorbedingung für erfolgreiche astronomische Untersuchungen, und hierzu gehört nicht etwa nur ein wolkenloser Himmel. Oft scheint für das bloße Auge der Himmel von der schönsten Klarheit zu sein, während ein Blick durch das Fernrohr uns sofort belehrt, daß die Luft in den höheren Regionen über uns in heftigster Bewegung ist, daß Luftschlieren zwischen uns und dem betrachteten Himmelskörper vorübergetrieben werden, die ihn im Fernrohre wild umhertanzen lassen.

Besonders wenn die Sterne recht schön flimmern und dadurch wie zur Betrachtung einzuladen scheinen, ist es mit der Fernrohrbeobachtung schlecht bestellt: dieses Flimmern ist eben eine Folge so starken Hin- und Herwerfens der Lichtstrahlen, daß schon das bloße Auge davon etwas bemerkt. Oft aber sind die Sterne für das Auge ganz ruhig, und selbst der prüfende Blick des Astronomen wird getäuscht, bis er sein Fernrohr gen Himmel richtet. Der dann gelegentlich doch gefundene Unruhezustand der höheren Luftschichten ist ein kaum trügendes Anzeichen des hereinbrechenden schlechten Wetters. Hat sich dagegen das Wetter ausgetobt, ist nach einem tüchtigen Gewitterregen das Gleichgewicht der Luft und namentlich durch den Regen eine gleichmäßige Erwärmung wiederhergestellt, ist endlich die Luft von Staubteilchen möglichst gereinigt, so gewährt die entschleierte Lufthülle zuweilen einige Stunden lang einen so tiefen Einblick in die Geheimnisse des Himmels, daß dem Auge des Astronomen Entdeckung auf Entdeckung leicht gelingt.



Marskarte von Schiaparelli vom Jahre 1877. Nach Flammarion, „Der Planet Mars". Vgl. Text, S. 30.

Der gelegentliche Besucher einer Sternwarte dagegen wird meistens enttäuscht sein, wenn es ihm vergönnt wird, durch ein großes Fernrohr zu sehen. Denn in den Abendstunden, an denen ihm der Zutritt zur Sternwarte gewährt wurde, ist die Luft infolge der raschen Abkühlung während der Tageswende nur sehr selten ruhig genug, um namentlich dem ungeübten Auge einen ungestörten Blick zu gestatten; jedenfalls sieht er von jenen wunderbaren Einzelheiten, die er vorher irgendwo abgebildet fand, keine Spur. Diese Feinheiten sind ausschließlich das Resultat eines langen, geduldigen Abwartens und besonders günstiger Umstände. William Herschel, der sein berühmtes Riesenteleskop in der Nähe von London aufgestellt hatte, klagte, daß es im ganzen Jahre nur sehr wenige Stunden gäbe, in denen er das gewaltige Sehwerkzeug mit wirklich großem Vorteile vor seinen mittleren Instrumenten verwenden könne.

Es war allerdings kaum ein ungünstigerer Platz für ein so großes Instrument zu finden als die Nähe von London, der Riesenstadt mit ihren berüchtigten Nebeln. Eben wegen dieser Schwierigkeiten, welche die Luft dem guten Sehen in den Weg legt, verwendet man in neuerer Zeit die größte Sorgfalt auf die richtige Wahl des Aufstellungsortes eines großen Fernrohres. Es ist natürlich in dieser Hinsicht sofort ein großer Vorteil erreicht, wenn man sich auf einen hohen Berg begeben kann. Dort ist der größte Teil des störenden

Einflusses der Atmosphäre überwunden; die dichtesten, unruhigsten, dunstigsten Schichten liegen unter dem Beobachter, über ihm die gleichförmiger bewegten und erwärmten Regionen des luftigen Mantels unseres Planeten. In dieser Hinsicht ist das große Fernrohr der Lick-Sternwarte auf dem Mount Hamilton (s. die untenstehende Abbildung) sehr bevorzugt unter den übrigen großen Fernrohren der Gegenwart. Es befindet sich zwar nicht gerade auf einem sehr hohen Berge (er ist nur etwa 200 m höher als



Die Lick-Sternwarte auf Mount Hamilton, Kalifornien, im Winter. Nach Photographie.

der Brocken, und nur der fünfte Teil der Atmosphäre liegt unter ihm), aber hier ist die Nähe des Meeres mit seiner wärmeausgleichenden Wirkung besonders vorteilhaft; außerdem unterstützt die Oberflächengestalt des Landes dort eine gleichmäßige Luftbewegung. Dicht an der pazifischen Küste erhebt sich zunächst ein Höhenzug, dem eine Talmulde folgt, und erst dann steigt die Bergkette an, welcher der Mount Hamilton angehört. Die Küstenberge lenken den Seewind nach oben ab; sie schützen jenes Tal von San José, das infolgedessen ein sehr viel wärmeres und trockneres Klima besitzt als die nahen Küstenstriche von San Francisco. Dieses Tal ist deshalb mit einem Ofen zu vergleichen, von dem beständig warme, trockene Luftströme die Gehänge des Mount Hamilton emporsteigen, welche die vom Meere herübertreibenden Nebel auflösen.

Das Observatorium auf dem Ätna (s. die untenstehende Abbildung) liegt nur 350 m unter dem Gipfel des gewaltigen Feuerberges, in einer Höhe von 2942 m. Die nächste Stadt ist Catania, von wo aus man 18 km im Wagen bis Nicolosi und dann noch einen sechsstündigen Ritt, vielfach über rauhe Lavafelder hinweg, zu dieser weltverlassenen Heimstätte der Wissenschaft zurückzulegen hat. Hier war es unmöglich, während des ganzen Jahres zu hausen. Nur in der günstigsten Jahreszeit begibt sich von dem Observatorium in Catania



Das Observatorium auf dem Ätna. Nach Photographie.

ein Teil der dortigen Astronomen hinauf, indem man zugleich das wertvolle Objektiv des dortigen großen Fernrohres, von 35 cm Durchmesser, mitnimmt.

Noch höher, bis zur höchsten Stelle unseres Kontinentes, der 4810 m hohen Montblancspitze, wagten sich die Pariser Astronomen, die dort unter der Leitung Janssens ein Observatorium bauten, das allerdings hauptsächlich spektroskopischen und meteorologischen Zwecken dient (s. die Abbildung, S. 35).

Die höchstgelegene und gleichzeitig das ganze Jahr hindurch arbeitende Sternwarte der Welt aber ist gegenwärtig die sogenannte Boyden-Station bei Arequipa auf der peruanischen Hochebene, in 2457 m Höhe. Sie liegt innerhalb der tropischen Zone, wo bekanntlich die Sterne beider Himmelshälften nahezu gleich gut gesehen werden können.

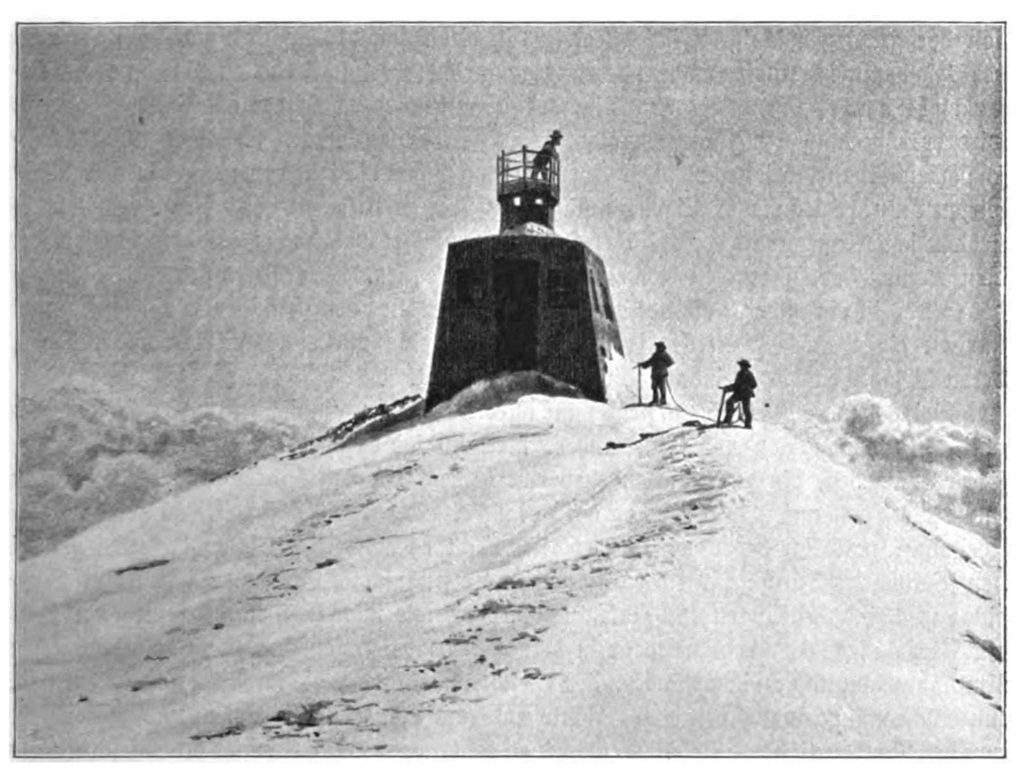
Die dortigen Astronomen wissen nicht genug die Reinheit und Ruhe der Luft über ihnen zu rühmen. Sie erzählen, daß man dort noch Sterne sechster und siebenter Größe leicht mit dem bloßen Auge sehen kann, während bei uns ein geübtes Auge Sterne sechster Größe nur mit Mühe erkennt. Dies besagt, daß dort mehrere tausend Sterne mehr zu sehen sind als bei uns, ungefähr noch einmal soviel, als hier überhaupt auf dem gleichen Felde gezählt werden. In der Gruppe der Plejaden sieht dort das bloße Auge elf Sterne, bei uns kaum fünf. Der berühmte Andromeda-Nebel, der hier nur in ganz klaren Nächten als eine matt aus dem Dunkel des Himmels hervorschimmernde Masse erkennbar ist, erscheint dort größer als der Mond, und der für uns nur sehr selten aufdämmernde Schein des Zodiakallichtes ist dort allnächtlich so intensiv, daß die peruanischen Assistenten der Sternwarte es für die Milchstraße hielten. Natürlich kommt diese ungemeine Durchsichtigkeit der Luft auch dem Fernrohrbilde zu statten, weil man entsprechend mehr Objekte zu sehen vermag als mit bloßem Auge. Man sieht darin die Ränder der hellen Himmelskörper selbst bei 400facher Vergrößerung nur selten wallen.

Während also durch die Erhebung über die tieferen Dunstschichten der Atmosphäre die angeführten Nachteile großer Gläser beseitigt werden, bleiben doch einige Einwirkungen zurück, die mittleren Gläsern nicht anhaften. Zunächst ist in dieser Hinsicht die Überstrahlung oder Irradiation zu erwähnen. Es ist bekannt, daß weiße Gegenstände immer größer erscheinen als gleichgroße schwarze; die genau gleichgroßen Scheiben (s. Abbildung, S. 37) zeigen dies deutlich. Das Licht greift auf unserer Netzhaut über die Schatten hinaus. Sehr feine schwarze Linien auf astronomischen Objekten, wie beispielsweise die Kanäle des Mars, können von diesem übergreifenden Lichte ganz überdeckt werden, wenn die umliegenden Partien durch das allzu lichtstarke Glas überstrahlen. Es hilft dann nichts weiter, als das Objektiv abzublenden, wodurch es auf die Stufe des entsprechend kleineren Fernrohres herabgedrückt wird und überhaupt nicht wesentlich mehr leistet als dieses.

Fassen wir alle diese Erfahrungen zusammen, so kommen wir zu dem Resultate, daß für Detailbeobachtungen an hellen Himmelskörpern die ganz großen Fernrohre nicht so wesentlich, wie man wohl erwartet hatte, den mittelstarken überlegen sind. Dagegen übertreffen sie selbstverständlich für lichtschwache Objekte stets, auch was die Details anbetrifft, die kleineren Instrumente. Sobald eben ein Gegenstand wegen Lichtmangels zu verschwinden droht, ist es vor allem notwendig, ihn heller werden zu lassen, um überhaupt etwas auf ihm zu sehen. Während hiernach die mittleren Fernrohre mit gewissen Vorzügen uns zu den Welten unseres heimatlichen Sonnensystems hinüberleiten und uns behilflich sind, dort den ähnlichen Zügen der großen Welteneinheit nachzuspüren, greifen die gewaltigsten Himmelsschlüssel der Gegenwart weit hinaus in die entferntesten Himmelstiefen und ergründen, wie bis an die letzten Grenzen unserer Erkenntnis sich immer noch Welten an Welten drängen, bis sie sich als matte Nebelschleier im Dunkel des Unerforschlichen verlieren. Und nicht nur über den Raum führt diese gigantische Brücke unserer modernen Sehwerkzeuge; sie überbrückt auch die Zeit. Was wir in diesen Fernrohren sehen, die Lichtdepeschen, die wir nur mit Hilfe dieser Licht zusammendrängenden Instrumente zu entziffern vermögen, sind in vielen Fällen Hunderte von Jahren früher von jenen fernen Welten ausgegangen, als wir sie hier in unserem kleinen Erdenwinkel endlich empfangen. Das Fernrohr gibt uns deshalb nicht nur ein getreues Bild der Gesamtheit

aller Welten, sondern erzählt uns zugleich auch die Weltgeschichte des Universums. Wir sehen dort die Welten entstehen und vergehen, so wie es hier bei uns blüht und reift und Winter und wieder Frühling wird.

Diese letzten Tiefen aber können nur unsere allergrößten Instrumente erreichen. Um weiter vorzudringen in Raum und Zeit, müssen deshalb immer mächtigere Werkzeuge geschaffen werden. Aber um die intimeren Züge unserer engeren Welt des Sonnenreiches immer besser kennen zu lernen, dazu braucht man glücklicherweise keine so ungeheuerlichen



Das Observatorium auf dem Montblanc. Nach Photographie. Vgl. Text, S. 33.

Werkzeuge, die Millionen kosten; bis zu diesen brüderlichen Nachbarwelten kann auch der Privatmann sich die optische Brücke bauen, die ihm dort nicht nur Spaziergänge zu seinem eigenen Ergötzen, sondern Forschungsreisen anzustellen gestattet, die der Himmelswissenschaft neue, wichtige Daten zuführen. In der Tat verdankt die letztere der zielbewußten oder gut geleiteten Arbeit von Liebhabern vielfach die wertvollsten Fortschritte, obgleich diese nur mit recht kleinen Fernrohren bewaffnet waren.

Die Fehlerquellen der Fernrohre sind mit dem bisher Gesagten noch nicht erschöpft. Selbst bei völlig ruhiger Luft und der größten Vollkommenheit der optischen Einrichtungen erscheint beispielsweise das Bild eines Fixsternes nicht mit der Wahrheit übereinstimmend, sondern so, daß es zu einer recht bedenklichen Täuschung Anlaß geben könnte. Wir werden später genügende Beweise dafür finden, daß selbst die allernächsten unter diesen Fixsternen immer noch einige hunderttausendmal weiter von uns entfernt sind als unsere Sonne.

Trotzdem stellen sie sich im Fernrohr als runde Scheiben mit einem deutlichen Durchmesser dar. Wenn dieser nun wirklich jenen Sternen zukäme, so könnte man leicht berechnen, daß sie sehr viel größer als unsere Sonne sein müßten. Da sie zweifellos auch Sonnen sind wie die unsrige, so würde man hieraus den Schluß ziehen, daß wir eines der stiefmütterlichst bedachten, kleinsten aller Sonnensysteme bewohnen. An sich wäre dies wohl möglich; tatsächlich aber verhält es sich ganz anders: die Fixsterne werden sogar deutlich desto kleiner, mit je stärkeren Vergrößerungen man sie betrachtet. Man erkennt also dann, daß man es nur mit einem Scheineffekte zu tun hat, dessen Ursache zu erforschen natürlich von der größten Wichtigkeit ist, da er uns ja direkt falsche Tatsachen vorspiegelt. Eine der Ursachen werden wir aus dem Vorangegangenen sofort ableiten können: die Überstrahlung. Je heller ein Punkt ist, der sich auf unserer Netzhaut abbildet, desto mehr wird er seine Umgebung mitbeleuchten, also eine Scheibe bilden. Da aber auch die lichtschwachen Sterne, bei denen diese Überstrahlung sicher nicht in dem erforderlichen Maße wirken kann, Durchmesser zeigen, müssen noch andere Ursachen eingreifen. Eine solche liegt in jener Eigenschaft der optischen Flächen der Objektivgläser begründet, die wir unter dem Namen der sphärischen Abweichung bereits kennen. Der Brennpunkt der Ränder des Glases ist ein anderer als der der Mitte. Es werden dadurch Bilder des Sternes nicht nur an einer einzigen Stelle, sondern rings um eine mittlere Lage herum entstehen, deren Gesamtheit die scheinbare Sternscheibe erzeugt.

Bei genauerem Hinblicken sieht man aber unter sehr günstigen atmosphärischen und optischen Bedingungen noch eine andere merkwürdige Erscheinung das Bild eines Fixsternes umgeben, die durch die angegebenen beiden Ursachen keineswegs erklärt werden kann: die sogenannten Interferenzringe. Die Figur auf Seite 37 zeigt die Erscheinung, natürlich bedeutend übertrieben, denn es handelt sich sowohl hierbei als bei den scheinbaren Durchmessern der Sterne um ganz minimale Größen. Diese Interferenzringe nun sind Wirkungen von Ablenkungen oder, wie man sagt, Beugungen des Lichtstrahles, die nicht mehr in den Gläsern selbst, sondern an ihren metallischen Umrahmungen und an den Rändern der Blenden stattfinden, die im Rohr angebracht sind, um Rückstrahlungen zwischen dem Objektiv und dem Okulare vorzubeugen und zugleich die von den Randpartien des Objektivs, als seinen erfahrungsgemäß weniger exakt geschliffenen Teilen, gebrochenen Strahlen von der Bilderzeugung auszuschließen. Die Folgen der Beugung der Lichtstrahlen lassen sich deutlich als eine Reihe konzentrisch zum eigentlichen Sternbild gelegener Ringe von schnell abnehmender Helligkeit erkennen, die durch dunkle, aber keineswegs scharf begrenzte Ringe voneinander getrennt sind. Der erste und zugleich hellste dieser Ringe legt sich unmittelbar um den Stern herum und verwandelt ihn dadurch in eine Scheibe. Natürlich macht diese Erscheinung der Interferenz keinen Unterschied mit den verschiedenen Objekten. Es folgt daraus, daß auch die übrigen Himmelskörper Interferenzringe erzeugen müssen, und wenn man sie bei ihnen meistens nicht sieht, so rührt das nur daher, daß ihr Licht zu hell ist, also die Überstrahlung vorherrscht: die feinen Ringe verlieren sich in der Überstrahlung. In Wirklichkeit aber müssen beide Wirkungen, die Überstrahlung und die Interferenz, die Durchmesser aller Himmelskörper im Fernrohre scheinbar vergrößern.

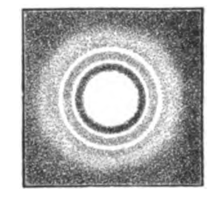
Es ist deshalb ungemein wichtig, den Einfluß dieser Fehlerquelle auch quantitativ zu bestimmen, was durchaus noch nicht in befriedigender Weise gelungen ist. Wir wissen nur,

daß wir alle Gestirnsdurchmesser im allgemeinen etwas zu groß ermitteln, daß aber das Resultat der Wahrheit sich um so mehr nähern wird, je größer die Objektivöffnung des angewendeten Fernrohres ist, denn um so geringer ist offenbar der Prozentsatz der Randstrahlen zur Gesamtmenge des konzentrierten Lichtes. Glücklicherweise ist der Betrag dieser irreführenden Vergrößerung so ungemein gering, daß er in jene Kategorie gehört, die an der letzten Grenze des den menschlichen Sinnen noch Erforschlichen liegt. Dennoch wendet der Astronom seinen ganzen Scharfsinn für die Ausmerzung gerade dieser minimalen Fehlerquellen auf, und die Erfolge, die er bei dieser haarspalterischen Arbeit erzielt, bilden die höchsten Triumphe seiner Wissenschaft. Manche zur Erkenntnis solcher minimalsten Werte führenden Wege werden wir in der Folge noch näher kennen lernen.



Optische Täuschung durch Überstrahlung. Vgl. Text, S. 34.

Zu den hier angeführten Fehlerquellen des Fernrohres treten noch die des Auges und der subjektiven Auffassung überhaupt. Wir wollen jedoch darauf hier nicht näher eingehen, sondern jedesmal bei betreffender Gelegenheit darauf zurückkommen. Im allgemeinen soll nur noch hervorgehoben werden, daß das astronomische Sehen eine Kunst ist, die nicht leicht erlernt wird. Selbst das gewöhnliche Sehen will bekanntlich gelernt sein. So erkennen beispielsweise selbst die intelligentesten und scharfsichtigsten Tiere auf Gemälden nichts; die Erzählung von den gemalten Weintrauben, nach denen die Spatzen pickten, ist eine Mythe. Sogar ihr Ebenbild im Spiegel bemerken Haustiere nur sehr selten. Dies beruht ausschließlich auf Flüchtigkeit der Beobachtung der sie nicht interessierenden Gegenstände, keineswegs etwa auf mangelndem Unterscheidungsvermögen. Ebenso geht es kleinen Kindern. Die herrlichsten Gemälde sind für sie zunächst nur ohne Sinn farbig beklexte Flächen. Erst ganz allmählich werden nicht etwa die auffälligsten, sondern die dem Kinde bekannten Gegenstände darauf unterschieden. Und ebenso wie ein Kind steht der Ungeübte den tieferen Feinheiten von Gemälden gegenüber, die dem Künstler sofort auffallen. Letzterer kann zwar dem Verständnis nachhelfen, indem er uns auf solche Details besonders aufmerksam macht. Dies ist aber dem Astronomen meist ganz unmöglich. Abgesehen davon, daß er auf die himmelweiten Objekte nicht mit dem Finger weisen kann, treten wegen der Unruhe des Luftmantels jene Einzelheiten meistens nur für Augenblicke hervor, so daß die Orientierung nicht gelingt. Selbst geübte Astronomen haben oft große Schwierigkeiten, Dinge zu sehen, die ein anderer Astronom verhältnismäßig leicht sieht, der sich mit dem betreffenden Gegenstande schon längere Zeit beschäftigt hat.



Interferenzringe. Vgl. Text, S. 36.

Die Abbildungen dieses Buches zeigen die Welten des Himmels, wie sie sich dem geduldigen Blicke des Astronomen in ganz besonders günstigen Augenblicken dargestellt haben, oder wie sie durch die Kunst der Photographie festgehalten worden sind.

3. Die Himmelsphotographie.

Man hat die photographische Camera mit dem Auge verglichen und gesagt, daß sie das Auge ersetzen könne. Der Vergleich hinkt aber wie jeder andere. Die Photographie kann nur die unter allen Umständen unumgängliche Arbeit unseres Auges in eine andere Zeit verlegen, verlängern oder verkürzen und dadurch in einem gewissen Sinne verschärfen, wie es das Fernrohr in einem anderen Sinne vermochte. Aber durch die Pforten unserer Augen muß ja doch schließlich direkt oder indirekt alle Erkenntnis von der Himmelswelt in unseren Geist eintreten. Die photographische Platte, die schneller auffaßt als unser Auge, wird gewissermaßen zu einem Mikroskop, nicht für den Raum, sondern für die Zeit, und zugleich zu einem Gedächtnisse, das diese Eindrücke beliebig lange Zeit treu und unverwischt aufbewahrt.

Jene schwingenden Atome, die in unserem Auge die Empfindung des Lichtes hervorrufen, lassen auf der empfindlichen Platte einen dauernderen Eindruck zurück als in unserem Auge; die Platte registriert, wie viele solcher Eindrücke und in welchen Abständen sie zu uns gelangten. Daß uns die Platte nur Zahl und Lage, nicht auch die Art der Schwingungen verrät, daß sie uns mit anderen Worten nur die auf eine Fläche projizierte Gestalt und die Lichtintensität der Himmelskörper, nicht aber ihre Farbe aufzeichnet, ist für unsere Zwecke kein wesentlicher Nachteil, namentlich da wir in der Spektralanalyse ein Mittel haben, mit früher ungeahnter Schärfe alle Farbennuancen jenes Sternenlichtes auf das sicherste zu erforschen.

Vielfach ist allerdings der Vergleich des Auges mit einem photographischen Apparate recht bestrickend. Man kann sogar noch weiter gehen und das Auge nicht nur mit der Camera obscura, sondern auch mit der dunkeln Präparierkammer des Photographen vergleichen. Es geschehen im Auge in der Tat außer den optischen auch chemische Vorgänge, die allem Anscheine nach zum Teil im Prinzip mit denen übereinstimmen, die wir vornehmen, um die Lichteindrücke auf den exponierten Platten festzuhalten. Die Netzhaut wird da, wo der Glaskörper das Bild entwirft, in bestimmten Intervallen von einer eigentümlichen purpurnen Flüssigkeit, dem Sehpurpur, überrieselt, die zweifellos lichtempfindlich ist, obgleich wir ihre chemische Zusammensetzung noch nicht ermitteln konnten. Daher kommt es, daß unser Auge weit kräftiger zu sehen vermag, wenn wir es vorher einige Zeit ganz ruhen ließen. Am Tage zwar kommt hier noch eine andere Ursache mit ins Spiel, nämlich die Erweiterung unserer Pupille, die selbsttätig eintritt, je weniger Licht ins Auge fällt. Wir blenden eben durch die Pupille ganz so ab, wie es der Photograph tut. Aber auch in der Nacht, wenn die Pupille ihre Öffnung nicht mehr ändert, sehen wir bedeutend besser und nehmen sehr schwache Lichteindrücke wahr, wenn wir vorher das Auge einige Zeit geschlossen hatten. Der Astronom wendet dies sehr häufig an, indem er oft 10—20 Minuten lang dem Auge völlige Ruhe gibt; während dieser Zeit erneuert sich in reichem Maße jener Sehpurpur: die photographische Platte im Auge wird mit einer besonders dicken empfindlichen Schicht überzogen und kann nun wieder besser arbeiten.

Die Natur ist bei dem in der photographischen Praxis veralteten Systeme der feuchten Platten stehen geblieben, wie überhaupt im lebenden Organismus jeder trockene Prozeß undenkbar ist. Welch gewaltigen Vorsprung aber bedeutet die trockene Platte gegenüber der



feuchten. Fast alle Hilfe, welche die Photographie heute der Wissenschaft leistet, wäre mit nassen Platten unmöglich.

Die Trockenplatte, von Maddox 1871 erfunden, summiert die Lichteindrücke innerhalb sehr weiter Zeitgrenzen, für die feuchte Platte dagegen sind diese Grenzen nur sehr eng gezogen, und im Auge ist das Maximum der Wirkung für uns fast momentan erreicht. Hierin liegt der wesentliche Unterschied zwischen Auge und photographischem Apparat begründet. Was das Auge nicht sofort sehen kann, das sieht es auch nicht nach einer Sekunde oder nach einer Minute; im Gegenteil, das längere Hinsehen auf denselben Punkt ermüdet das Auge und macht es immer undeutlicher sehend. Die Trockenplatte aber notiert, wenigstens innerhalb weiter Grenzen, alle auf sie fallenden Lichtwellen und sagt uns in ihrer Bildersprache, wie viele jener himmlischen Sendboten auf jeden Punkt ihrer empfindlichen Fläche innerhalb einer bestimmten Zeit gelangten. Aus früheren Betrachtungen wissen wir aber, daß eben diese Zählung der Menge lichtschwingender Atome, die uns von den Sternen zugesandt werden, das wichtigste, ja vor der Entdeckung der Spektralanalyse das einzige Fundament ist, auf dem wir unsere Erkenntnis vom Universum aufbauen.

Ein Nachteil gegenüber dem Auge entsteht für die Platte dadurch, daß das photographische Korn etwa zehnmal größer ist als das unserer Netzhaut, deren Elemente etwa zwei Tausendstel eines Millimeters voneinander abstehen. Dafür ist aber auch die ganze photographische Camera des Auges ungemein viel kleiner als die von uns verwendeten Apparate. Ihr Durchmesser, die Brennweite des Auges, beträgt kaum 25 mm, die Öffnung im günstigsten Falle 5 mm. Das Bild, welches das Auge vom Mond entwirft, hält nur etwa ¼ mm im Durchmesser. Von den lichtschwingenden Atomen, die noch ungemein viel kleiner sind als jene Zwischenräume der Netzhautelemente, kann sich zwischen dem Korne der Platte eine viel größere Anzahl unwirksam, unbemerkt verlieren als in unserem Auge; letzteres ist also empfindlicher. Dies aber gilt doch nur für den Moment. Sobald ein Netzhautelement von einem Lichtelemente getroffen wird, löst es auch den Lichtreiz aus; der leuchtende Gegenstand muß also mindestens so groß sein, daß sein Bild im Auge nicht zwischen dem Korn hindurchfallen kann. Dasselbe gilt auch für die Platte, nur muß hier der Gegenstand eben zehnmal größer sein, um nicht zwischen den lichtempfindlichen Maschen des photographischen Netzes, in dem wir ihn zu fangen wünschen, hindurchschlüpfen zu können. Im Momente des ersten Lichteindruckes wird also das Auge viel schärfer sehen, viel feinere Struktur wahrnehmen.

Diese Verhältnisse ändern sich indessen sehr zugunsten der Photographie, sobald es sich um Zeitaufnahmen handelt. Das Auge summiert die Lichteindrücke nicht, wie es die Platte vermag. Sobald der Eindruck des Momentes vorübergegangen ist, wird auch schon das Bild in unserem Auge wieder zerstört, bis auf geringe Reste vielleicht, die in irgend einer Weise aufbewahrt werden, um unsere Erinnerung zu ermöglichen. Wie schnell aber auch diese Erinnerungsbilder verblassen, erfahren wir zu unserem Schmerze täglich. Im photographischen Laboratorium des Auges befindet sich keine Fixiervorrichtung. Es wäre übrigens sehr schlimm für uns bestellt, wenn sich die Bilder in ungeschwächter Kraft hintereinander lagerten; dann würde dasselbe geschehen, was der Photograph erschreckt bemerkt, wenn er zwei oder gar noch mehr Aufnahmen auf der nämlichen Platte vorfindet: in dem Durcheinander ist nichts mehr deutlich zu erkennen. Die Trockenplatte aber hält die einmal empfangenen Lichteindrücke fest und sammelt alle weiter folgenden Eindrücke zu den alten.

Freilich muß hier noch ein Umstand begünstigend für die Platte hinzukommen, der für das Auge störend wirkt: die fortwährende Unruhe des Bildes, die von den wechselnden Lichtbrechungsverhältnissen in unserer Atmosphäre oder auch von der nicht absolut festen Aufstellung des Instrumentes herrührt. Bliebe nämlich die Lage der Lichtwellen zur Platte immer genau die gleiche, so müßten natürlich jene Strahlen, die einmal durch das Netzwerk zu schlüpfen vermochten, auch ein für allemal für unsere Erkenntnis verloren gehen. Da aber die Lichtstrahlen beständig hin und her zittern, so können sie, auch wenn sie nur sehr spärlich sind, doch gelegentlich eines jener empfindlichen Körner treffen und dadurch ihre Existenz verraten. Dies wird natürlich um so seltener geschehen, je dünner der Lichtstrahl ist, weil er mehr Spielraum zwischen den Maschen hat als der stärkere, d. h. kräftigere. Je länger wir also die Platte dem Spiele der Lichtschwingungen aussetzen, desto feinere Eindrücke wird sie verzeichnen, und dies muß, sofern unsere obigen Betrachtungen richtig sind, theoretisch bis ins Unbegrenzte fortgehen; wenn irgendwo sich nur ein einziges lichtschwingendes Atom befindet, dessen Stöße der Weltäther bis zu unserer photographischen Platte trägt, so kommt es allein auf die Zeit an, während der wir die nacheinander heranschwirrenden Lichtatome wirken lassen, damit eines davon mindestens einmal auf eines jener Silbersalzmoleküle schlage, die es durch die Energie seiner Bewegung auseinanderreißt und dadurch ein Dokument von seiner Existenz zurückläßt.

Bis zu einem gewissen Grade bestätigt dies auch die praktische Erfahrung. Freilich, bis an die Grenzen dessen, was wir ausdenken können, wird es dem Menschen niemals vergönnt sein, in Wirklichkeit vorzudringen. Die Grenzen sowohl des unendlich Großen, zu denen wir hier die Wege suchen, als die des unendlich Kleinen, der Atomwelt, werden uns ewig verschlossen bleiben. Immerhin haben wir es erreicht, daß sich auf der photographischen Platte trotz ihres groben Kornes Himmelskörper von so ungemeiner Lichtschwäche abbilden, daß das für den Moment so sehr viel empfindlichere und feiner konstruierte Auge keine Spur davon entdecken kann. Auf Platten, die stundenlang exponiert wurden, sieht man oft ganz feine schwarze Pünktchen, die bei wiederholter Aufnahme immer wieder an denselben Stellen, verglichen mit wohlbekannten Sternen, auftreten, also nur von Sternen herrühren können, die dennoch das weittragendste Fernrohr dort nicht aufzufinden vermag. Ohne Zweifel besitzen diese Himmelskörper einen viel kleineren scheinbaren Durchmesser für uns, als das Korn der Platte oder selbst der Netzhaut ausmacht; dennoch haben die in jener für uns unausmeßbaren Unendlichkeit angeregten Ätherschwingungen nach vielleicht jahrtausendelangem Wege, und nachdem sie stundenlang zwischen den Maschen des lichtempfindlichen Gewebes unserer Platte umherschwirrten, schließlich ein Silberkörnchen gefunden, auf das sie hier unten auf unserer Erde einen Eindruck niederlegten als materielle Spur ihrer Existenz. Solche Aufnahmen glücken schon mit viel kleineren optischen Hilfsmitteln als denjenigen, mit denen nachher die vergebliche Nachforschung mit dem Auge geschah; es handelt sich hier also um einen zu wesentlichen Vorsprung der photographischen Forschung, als daß er von den optischen Werkzeugen zum direkten Sehen jemals wird überbrückt werden können. Was wir durch die Vergrößerung der Durchmesser unserer Objektivgläser zu erreichen trachteten, Vermehrung der Lichtstärke, das haben wir durch die Photographie, wenigstens teilweise, wirklich erreicht; während uns unser technisches Unvermögen dort ein weiteres Vordringen, eine weitere Vervollkommnung erschwerte, hat die Photographie uns einen anderen leichteren Weg zum gleichen Ziele gezeigt.

Häufig können sogar schon gewöhnliche photographische Apparate mit sehr kräftigen Fernrohren vorteilhaft wetteifern. Man muß nur dafür sorgen, daß ein solcher Apparat ganz genau der Bewegung der aufzunehmenden Himmelsregion folgt, denn jener Vorteil wird eben nur durch entsprechend verlängerte Expositionszeit erzielt. Oft genügt zu solchen Aufnahmen nicht einmal der Zeitraum einer ganzen Nacht; man muß, noch bevor die erste Dämmerung anbricht, den Apparat schließen, um ihn dann in der nächsten Nacht wieder genau auf dieselbe Stelle zu richten, was mit dem „Sucher" ohne Schwierigkeit möglich ist, und nun die Exposition vollenden.

Die Anwendung gewöhnlicher photographischer Apparate an Stelle der Fernrohre hat noch einen anderen großen Vorteil, wenn es sich mehr um Durchforschung als um möglichst genaue Aufzeichnung handelt. Man kann einem photographischen Objektive viel leichter eine kürzere Brennweite bei großer Öffnung geben als einem astronomischen. Das Brennpunktbild wird dadurch viel kleiner, die Lichtstärke also bleibt eine größere. Handelt es sich demnach um ausgedehnte sehr lichtschwache Objekte, z. B. um jene Nebelflecke, die weite Himmelsgründe mit einem matten Lichtschimmer überziehen und meist erst durch die Photographie entdeckt worden sind, oder um Aufnahmen von Kometen, so haben Apparate mit möglichst großem Objektiv und zugleich möglichst kurzer Brennweite einen erheblichen Vorzug vor den größten Fernrohren. Daß das Bild auf der Platte dadurch viel kleiner wird als mit Hilfe eines Fernrohres mit größerer Brennweite, ist für jene Zwecke nur vorteilhaft, weil man so mit derselben Platte ein viel größeres Gebiet des Himmels beherrscht.



Die Umgebung vom ε im Orion. Photographiert von J. Scheiner in Potsdam bei achtstündiger Belichtung Vgl. Text, S. 42.

Welch ungemein großen Vorsprung die Himmelsphotographie für die Aufzeichnung der Fixsterne gewonnen hat gegenüber der schwerfälligen Festlegung mit den messenden Instrumenten des Astronomen, und wieviel tiefer die Platte eindringt als diese Sehwerkzeuge, davon wird noch später oft die Rede sein. Es hat sich seit einigen Jahren eine Vereinigung von Astronomen gebildet, die mit Hilfe von mittelgroßen Instrumenten eine gleichmäßige Aufnahme des gesamten gestirnten Himmels sich zur Aufgabe gestellt hat. Die Arbeit wird noch Jahrzehnte in Anspruch nehmen, dann aber ein monumentales Werk bilden, das den nächsten Jahrhunderten eine große Anzahl wichtigster Aufschlüsse über die Verwaltung dieses größten Weltgebäudes der vereinigten Sonnensysteme geben wird,

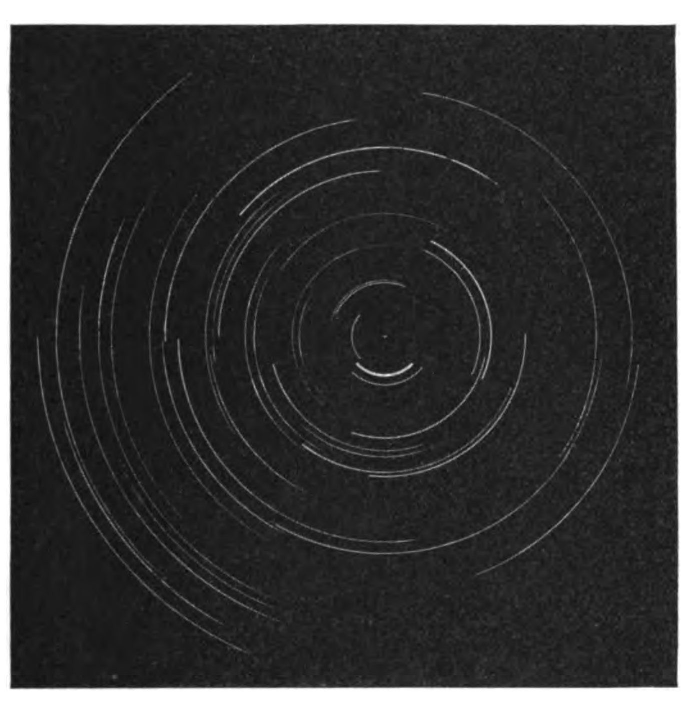
in dem unser Planetenreich nur ein winziger Kleinstaat ist. Wir kommen später noch auf diese große Arbeit zurück.

Doch nur wo ausschließlich Vermehrung der Lichtstärke, nicht auch zugleich Vergrößerung des Objektes gefordert wird, zeigt sich die Photographie dem direkten Sehen mit dem Fernrohr überlegen. Wir sahen, als wir von den Wirkungen des Fernrohres sprachen, daß man an seinem unteren Ende die Okulare anbringt, um das vom Objektiv erzeugte Bild je nach dem Wesen des zu erforschenden Objektes verschieden vergrößern zu können. Das photographische Bild, das im Fernrohr an der nämlichen Stelle entsteht, kann aber wegen seines groben Kornes nicht nachträglich in derselben Weise vergrößert werden wie beim direkten Sehen durch die Okularlupe. Da das Licht zwischen dem Korn der Platte nichts aufzuzeichnen vermochte, sind alle Details, die das Fernrohr auf diesen Zwischenräumen entwarf, und die das Auge wegen seines zehnmal feineren Kornes noch unterscheiden konnte, wenn sie lichtstark genug waren, völlig verloren gegangen. Die photographische Platte zeigt sich also auch in ihren Nachteilen den großen Objektivgläsern ähnlich, die, wie wir früher sahen, zu Detailforschungen auf hellen Himmelskörpern sich verhältnismäßig weniger geeignet erwiesen als kleinere Gläser. Hierzu tritt noch, ebenso wie bei den Riesenfernrohren, aber in viel höherem Maße für die photographische Platte, der Übelstand der Überstrahlung. Die schwingenden Atome, die zwischen den Maschen der empfindlichen Schicht durchglitten, werden zum Teil von der spiegelnden Rückseite der Glasplatte zurückgeworfen und gelangen nach dem ablenkenden Rückstoße zu einem Korn, das sie zersetzen, während das Bild des Fernrohres hier gar keine lichte Stelle aufwies. Auf diese Weise umgibt sich das Bild der helleren Sterne mit einem Ringe oder Hof. Anderseits frißt sich das Licht in die Schatten: die Platte verzeichnet, verunstaltet die Einzelheiten und vergrößert die Bilder der Sterne.

Die gleiche Erscheinung tritt auch bei den Sternaufnahmen auf, nur wirkt sie hier nicht störend. Alle helleren Sterne, die doch, wie öfters angeführt, durchmesserlos für uns sind, zeichnen sich auf der Platte als Scheiben von ganz beträchtlicher Ausdehnung, die namentlich jene bedeutend übertrifft, die durch die optischen Mängel des Fernrohres erzeugt werden. Die Abbildung auf Seite 41 ist die Kopie einer photographischen Sternaufnahme in der Originalgröße. Wir sehen darauf, daß einzelne Sterne als millimetergroße Scheiben erscheinen, gerade so, wie man sie auf den neueren Sternkarten zu verzeichnen pflegt, um durch die verschiedene Größe der Scheiben den verschiedenen Grad ihrer Helligkeit, ihre sogenannte Größenklasse anzugeben. Eine Scheibe aber ist unverhältnismäßig groß. Für den entsprechenden Stern war die Expositionszeit viel zu lang gewählt. Diese photographischen Sternscheiben entsprechen, mit einer Einschränkung, auf die wir später eingehen werden, den gleichen Größenklassen. Die helleren Sterne haben größere Scheiben als die schwächeren, und erst die allerkleinsten schrumpfen zu Pünktchen von der Größe des photographischen Kornes zusammen.

An der Erzeugung der Sternscheiben wirkt auch die Bewegung der himmlischen Objekte mit. Infolge der Drehung der Erde um ihre Achse beschreiben alle Sterne scheinbar Kreise um die Himmelspole. Die Abbildung auf Seite 43 stellt eine photographische Aufnahme des himmlischen Nordpols dar, während das Fernrohr stillstand. Die Sterne sind deshalb zu Teilen von Kreisen ausgezogen. Der Mond und die Planeten haben außerdem noch eigene Bewegungen. An jedem größeren Fernrohr ist zwar ein Uhrwerk

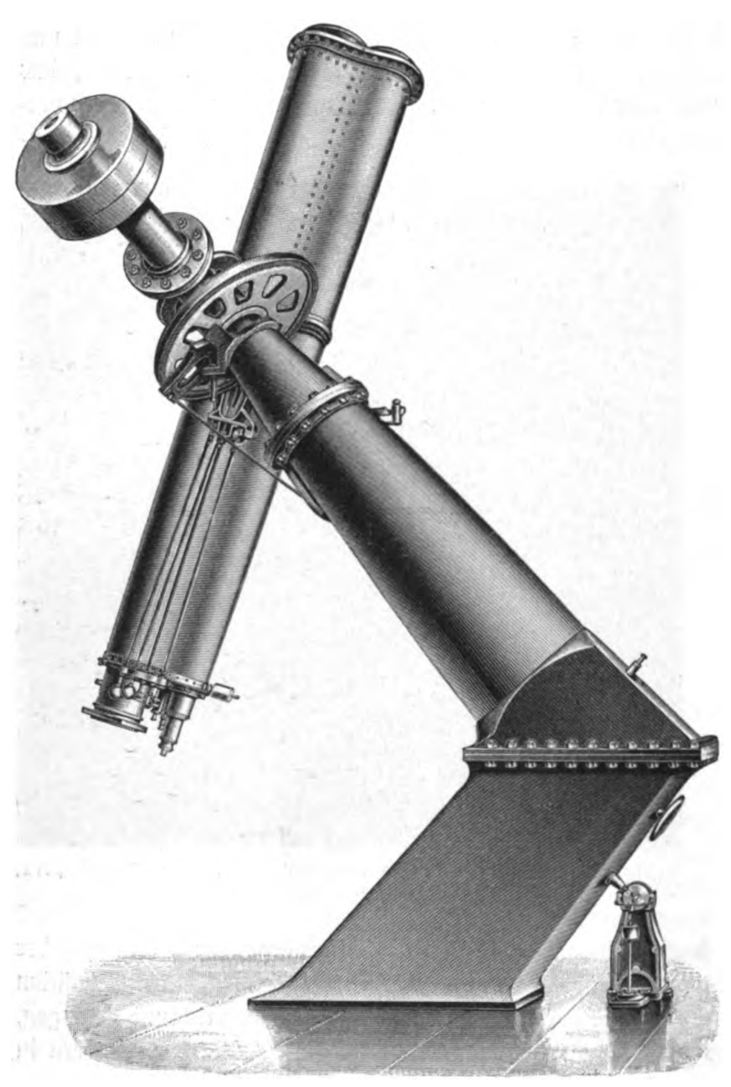
angebracht, welches das Instrument jener scheinbaren Bewegung nachführt; aber keine menschliche Kunst kann jemals mit dem himmlischen Uhrwerk so konkurrieren, daß Abweichungen von so kleinen Bruchteilen des Millimeters, wie sie dem Korne der Platte entsprechen, nicht jeden Augenblick vorkämen. Man kann die auf solche Art entstehenden Fehler nur dadurch einigermaßen bekämpfen, daß man das Uhrwerk beständig auf das schärfste bewacht und ihm nachhilft. Dies geschieht mit Hilfe des sogenannten Sucherfernrohres, das sich an jedem größeren Instrumente befindet. Beide Fernrohre sind fest miteinander verbunden und zeigen zugleich dieselbe Himmelsgegend. In dem Sucher ist ein feines Fadenkreuz ausgespannt. Man stellt einen deutlich sichtbaren Stern auf dieses Fadenkreuz ein und sorgt durch die feinen Schrauben, die das Fernrohr um minimale Größen verschieben können, dafür, daß der Stern während der ganzen Dauer der Exposition genau an der Kreuzungsstelle der Fäden bleibt. Man hat zu diesem Ende oft stundenlang unausgesetzt durch das Sucher- oder Pointier-Fernrohr mit schärfster Aufmerksamkeit zu sehen, eine nicht geringe Geduldsprobe. Aber selbst dieses Mittel hilft nicht über alle Schwierigkeiten hinweg. Der Sucher ist gewöhnlich viel kleiner als das eigentliche Fernrohr. Er wird deshalb in anderer Weise den durchbiegenden Wirkungen der Schwere unterworfen sein als das große. Da nun während der stundenlangen Exposition beide Fernrohre nacheinander in sehr verschiedene Lagen zur Schwererichtung gelangen, so wird der Parallelismus nicht völlig gewahrt werden können; die Sterne wandern in dem großen Fernrohre ein wenig weiter, obgleich man sie mit Hilfe des kleinen auf der nämlichen Stelle festzuhalten bemüht ist.



Photographische Aufnahme des himmlischen Nordpols. Von W. Prinz in Brüssel. Vgl. Text, S. 42.

Bei speziell zu photographischen Zwecken gebauten Fernrohren blieb deshalb nichts anderes übrig, als den Sucher genau so groß zu machen wie das aufnehmende Fernrohr, also ein Doppelfernrohr herzustellen, wie man etwa Operngläser konstruiert. Die Abbildung auf Seite 44 zeigt ein solches Instrument, das sich auf dem astrophysikalischen Observatorium in Potsdam befindet. Eine andere Form solches photographischen Fernrohrs ist in dem auf Seite 46 stehenden Bruce-Refraktor abgebildet, mit dem eine Reihe der später zu gebenden Himmelsaufnahmen hergestellt wurde. Doch selbst bei solchen Fernrohren wird

es nicht ausbleiben, daß durch mangelhafte Fortbewegung des Instrumentes der Lichtstrahl von seiner normalen Richtung während kurzer Zeit abweicht. Bei den hellen Sternen zeichnet sich dies sofort auf die Platte und hilft dadurch die Scheibe bilden, während bei den kleineren in dieser kurzen Zeit nicht so schnell ein empfindliches Korn aufgefunden wird.



Photographischer Refraktor der Potsdamer Sternwarte. Nach einer Photographie. Vgl. Text, S. 43.

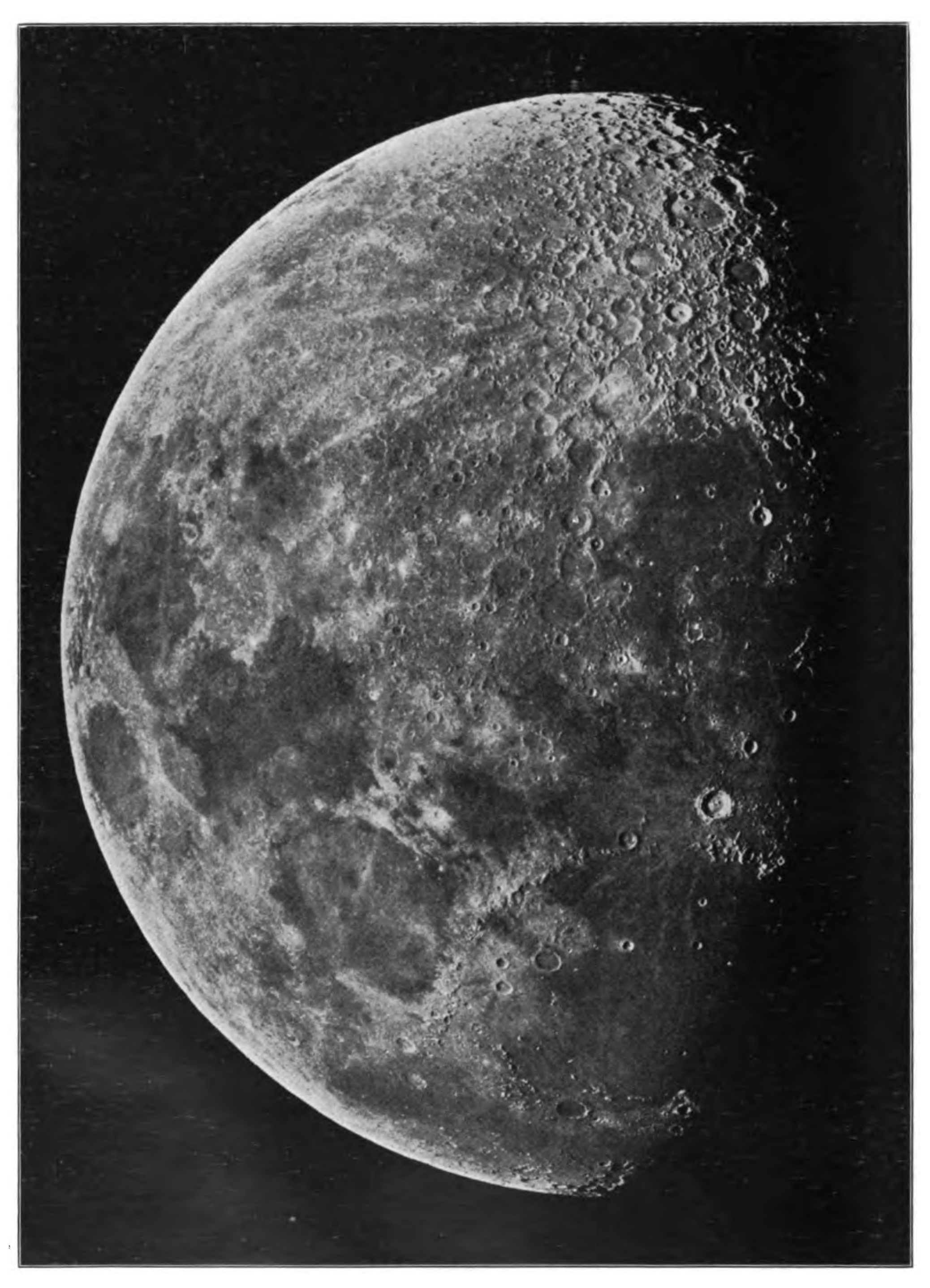
Da, wie wir sahen, für uns absolut durchmesserlose Punkte durch den photographischen Prozeß Scheiben erzeugen, die auf der Platte millimetergroß werden, so müssen leuchtende Flächen, wie die des Mondes und der Planeten, notwendig verschwommene Bilder erzeugen, etwa so, als wenn wir nicht scharf auf das Objekt eingestellt hätten. Die von jedem leuchtenden Punkte jener Flächen erzeugten Scheiben greifen übereinander und verwischen die umliegenden Details. Namentlich auf älteren Photographien des Mondes zeigte sich dies in sehr auffälliger Weise, da sie, obgleich mit den besten Fernrohren aufgenommen, kaum so viel Feinheiten aufwiesen, als man etwa mit einem Fernrohre mit guten modernen Objektiven von drei bis vier Zoll Öffnung sehen und zeichnen konnte.

Nachdem die erste Mondphotographie bereits im Jahre 1851 dem amerikanischen Astronomen Bond geglückt war, mußte man sich zwei Jahrzehnte mit diesen mangelhaften Resultaten begnügen, ehe durch die 1871 eingeführten Trockenplatten ein wesentlicher Fortschritt erzielt wurde. Diese sind bis zu dreißigmal empfindlicher als die nassen photographischen Platten; man konnte also mit ihrer Hilfe die Expositionszeit bis auf ein Dreißigstel



Photographische Aufnahme des Mondes im Alter von 8 Tagen.

Hergestellt von Loewy und Puiseux, Paris am 13. Februar 1894.



Photographische Aufnahme des Mondes im Alter von 10 Tagen, Strahlensysteme zeigend.

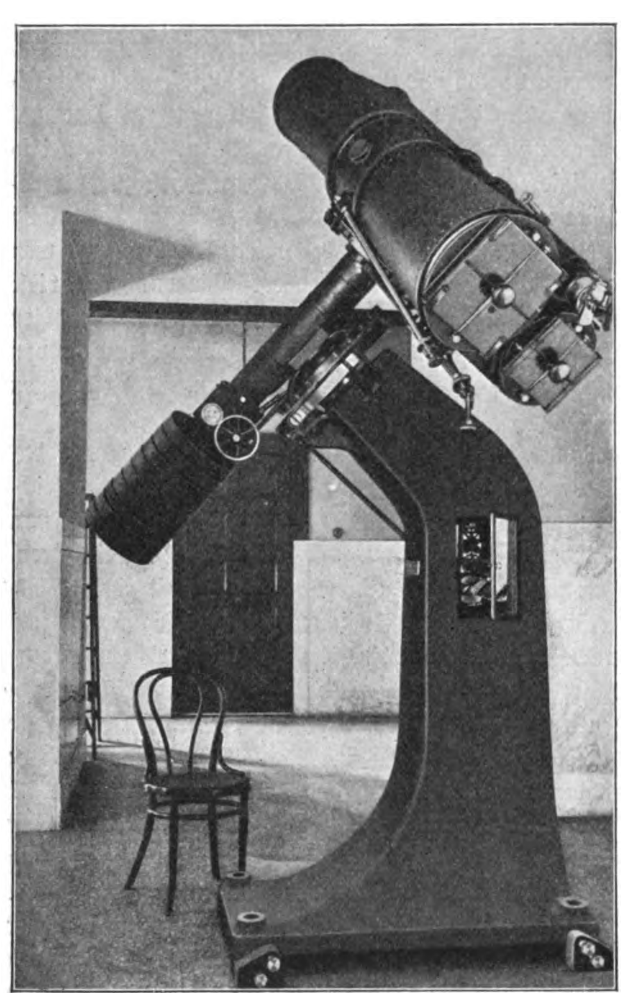
Hergestellt von Loewy und Puiseux, Paris am 23. Februar 1896.

der früheren verkürzen, so daß sie für den Mond heute auf wenige Zehntel einer Sekunde herabgesunken ist. Durch diese Verkürzung der Expositionszeit werden natürlich die vom Luftzustand und den Fehlern des Uhrwerkes herrührenden Mängel der Aufnahme auf ein Minimum reduziert. Der Lichtstrahl hat nicht Zeit, nach allen Seiten hin und her zu zittern, er kann also nicht jene übergreifenden Scheiben erzeugen. Immer feinere Details erscheinen deshalb auf der photographischen Platte. Die vollkommensten Aufnahmen des Mondes sind wohl den Pariser Astronomen Loewy und Puiseux gelungen, die an ihr photographisches Fernrohr noch eine Präzisionsvorrichtung angebracht haben, um es jedesmal der besonderen Bewegung des Mondes unter den Sternen nachzuführen, was ja bei so kurzen Aufnahmen nicht durch die korrigierende Hand des im Sucherfernrohr kontrollierenden Beobachters möglich gewesen wäre und dennoch bei der Größe des Fokusbildes nötig wurde, um vollkommene Schärfe zu erreichen. Zwei dieser berühmten Pariser Aufnahmen sind hierneben in der Originalgröße des Fokusbildes wiedergegeben. Wie wunderbar viele Einzelheiten die Aufnahmen aber auch enthalten, so hat sich doch der Verfasser überzeugen können, daß man unter dem reinen Himmel Capris mit einem Zeißschen Fernrohr von 4 Zoll (110 mm) Öffnung und 200facher Vergrößerung mehr sehen kann, als diese besten Mondphotos zeigen.

Vergrößerungen von Mondphotographien können heute bis etwa auf das Vierzigfache ihres ursprünglichen Durchmessers getrieben werden. Natürlich wird gleichzeitig auch das Korn mit vergrößert und das Bild in der Detailzeichnung immer gröber. Um diesem Übelstande wenigstens teilweise auszuweichen, hat Weinek in Prag ein eigentümliches Verfahren angewandt. Er überdeckt das fertige Negativbild mit einer Glasplatte, in die ein System von senkrecht sich kreuzenden Strichen mit dem Diamanten sehr zart eingeritzt ist, betrachtet es durch eine zwanzig-, resp. vierzigmal vergrößernde Lupe und zeichnet nun mit minutiösester Sorgfalt Quadrat für Quadrat ab. Es gehört hierzu eine ganz ungemeine Fertigkeit, die unter den heutigen Astronomen wohl nur der Genannte besitzt. Durch diese Methode können die Unebenheiten des Kornes überbrückt werden; das Bild wird einheitlicher, klarer als durch die rein mechanische Vergrößerung. Betrachtet man z. B. die auf solche Weise erzeugten Darstellungen des Arzachel auf Seite 71 aus der Entfernung deutlicher Sehweite, die wir hier zu 25 cm annehmen, so ist das in unserem Auge erzeugte Bild so groß, wie es ein 600fach vergrößerndes Fernrohr zeigen würde. Die Weinekſche Vergrößerung hat aber vor dem Fernrohrbilde den großen Vorzug der Ruhe, während das direkte Sehen nur selten mehr als eine dreihundertfache Vergrößerung anzuwenden gestattet, damit die Bewegungen der Luft nicht alles verwischen. Infolge dieser verschiedenen Umstände sind auf den Weinekschen Zeichnungen schon manche kleinen Gebilde der Mondoberfläche entdeckt worden, die das Auge später nur mit großen Schwierigkeiten zu erkennen vermochte.

Freilich darf nicht unerwähnt bleiben, daß der unendliche Vorzug, den die Photographie, auch wenn sie ein noch so unvollkommenes Bild liefert, durch ihre Objektivität stets vor der Handzeichnung besitzt, durch die Weineksche Bearbeitung zum Teil wieder aufgehoben wird. Mag man auch noch so streng sich an das Original zu halten suchen, immer wird der Nachbildner etwas Subjektives hineintragen, ganz besonders wenn es sich um feine Einzelheiten handelt, die an der Grenze unseres Unterscheidungsvermögens liegen. Wir werden später noch häufig nachweisen können, wie grundverschieden oft Zeichnungen

desselben Objektes bei den einzelnen Beobachtern ausfallen. Für die allerfeinsten Details, die eben zwischen dem Korne der Platte hindurchschlüpfen wollen, bleibt Weinek eine Deutung frei, die er subjektiv hineinträgt. Eine zweite Platte, bei der das Korn anders liegt, wird hier wieder sehr viel verbessern können; aber immer bleibt Persönliches zurück.

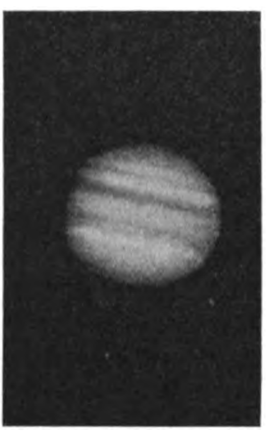


Zehnzölliger photographischer Bruce-Refraktor der Yerkes-Sternwarte. Nach Photographie. Vgl. Text, S. 43.

Die Photographie der großen Planeten steht dagegen noch weit zurück, ungefähr auf dem Standpunkte, den die Mondphotographie zur Zeit der nassen Platten einnahm. Man muß immer noch 10—20 Sekunden lang exponieren, um beispielsweise ein Bild von Jupiter oder Saturn zu erhalten. Die Abbildung auf S. 47 gibt ein Faksimile einer solchen Photographie des Jupiter; ein flüchtiger Vergleich mit den in diesem Werk enthaltenen Zeichnungen dieses Himmelskörpers (s. S. 155 u. 157) ergibt unmittelbar, daß die Photographie heute zum Studium der Planetenoberflächen noch so gut wie gar nichts beizusteuern vermag. Man ist hocherfreut, wenn man z. B. auf einer Photographie des Mars die hellen Polarflecke eben noch erkennt, die schon in den ersten nicht achromatischen Fernrohren des 17. Jahrhunderts gesehen worden sind. In dieser Richtung ist Besserung nur von der zukünftigen Herstellung noch weit empfindlicherer Platten zu erwarten. In neuerer Zeit freilich teilte Lowell, ein amerikanischer Privatastronom, der eine mit bedeutenden Instrumenten ausgestattete Sternwarte in Arizona eingerichtet hat, mit, daß er auf mehr als 20 im Jahre 1905 gemachten Aufnahmen des Mars deutlich eine ganze Reihe von Kanälen zu erkennen vermag, während es allerdings andere Astronomen gibt, die die Existenz von Marskanälen überhaupt in Zweifel stellen, wovon in dem betreffenden Kapitel weiter die Rede sein wird.

Einen recht eigenartigen Erfolg hat jedenfalls die Photographie im Bereich unserer Planetenwelt zu verzeichnen. Sie entdeckt, gewissermaßen automatisch, kleine Planeten, von denen bekanntlich Hunderte zwischen Mars und Jupiter ihre Straße ziehen.

Diese winzigen Himmelskörper unterscheiden sich im Fernrohr in keiner Weise von kleinen Fixsternen. Um sie zu entdecken, muß man nach mehrstündiger oder auch mehrtägiger Beobachtung feststellen, daß sich das leuchtende Planetenpünktchen unter den übrigen Sternen bewegt hat, wodurch es seine Bahnbewegung um die Sonne verrät. Seit es Platten von genügend hochempfindlicher Qualität gibt, braucht man nur in der Gegend, in der man solche Planeten vermutet, eine mehrstündige Fixsternaufnahme zu machen. Befand sich ein Planet in dem von der Platte beherrschten Gebiete, so mußte er sich offenbar als Linie, nicht als Punkt wie die Fixsterne, verzeichnen, eben weil der Planet sich während der Aufnahmezeit bewegt hat. Man betrachte deswegen die bei ruhendem Fernrohr gemachte photographische Aufnahme der Umgebung des Poles auf Seite 43, die lauter Kreisabschnitte statt der Sterne zeigt. In unserem Kapitel über die kleinen Planeten (S. 147) ist die Aufnahme eines solchen abgebildet.



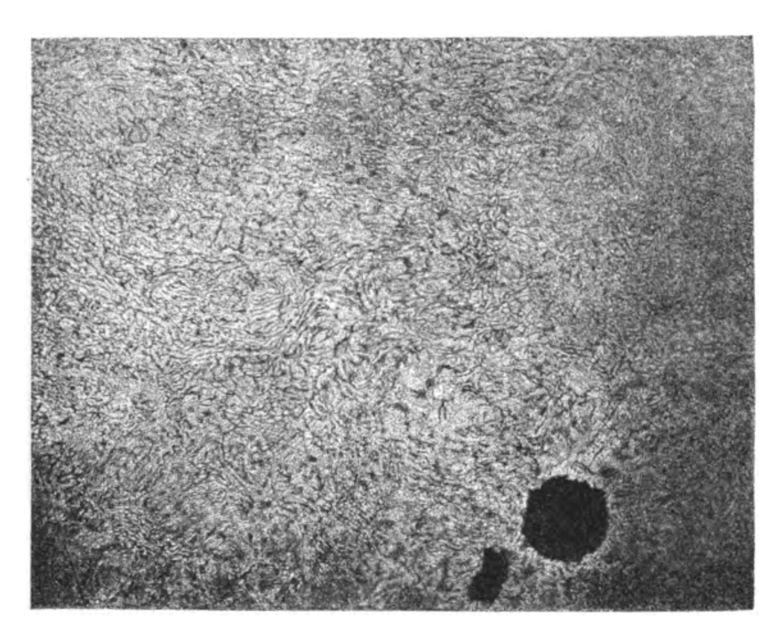
Der Planet Jupiter, photographiert auf der Harvard-Sternwarte zu Cambridge (N.-A.). Vgl. Text, S. 46.

Früher war es eine äußerst mühsame Arbeit, diese winzigen Himmelswesen zu entdecken. Gewöhnlich mußte eine langjährige Arbeit vorangehen, in der man all diese kleinsten Sterne am Fernrohr aufgezeichnet hatte, um gelegentlich bei wiederholten Revisionen der Gegend fehlende oder hinzugekommene Sterne zu finden, die man dann auf ihre etwaige Bewegung verfolgte. Denn von vornherein all jene Sterne auf ihre Bewegung zu prüfen, wäre eine gar zu langwierige Arbeit: es gibt deren Millionen am Himmel und oft Hunderte in dem Umkreise, den das Fernrohr zugleich überblickt. Fertige Himmelskarten, die noch diese feinsten Sterne verzeichnet enthalten, gab es nicht; daher konnten nur jene Astronomen systematisch kleine Planeten entdecken, die selbst solche Karten teilweise ausgearbeitet hatten. Der inzwischen verstorbene Peters in Clinton (Nordamerika) und Palisa in Wien waren in dieser Lage; diese beiden haben seinerzeit kleine Planeten dutzendweise gefunden. Heute aber entdecken Wolf in Heidelberg, der diese photographische Methode zuerst angab und ausführte, und Charlois in Marseille die kleinen Planeten ganz ohne Karte, indem sie nur zwei bis drei Stunden lang dafür sorgen, daß ihr Apparat stets auf dieselbe Stelle des Himmels gerichtet bleibt. Sind nachher nur Punkte, kein Strich auf der Platte zu sehen, was wohl meistens der Fall sein wird, so ist immerhin ein wertvolles Dokument von dem Zustande des Himmelsraumes in der betreffenden Richtung geschaffen und die Arbeit nicht vergebens gewesen. Ist aber ein Strich verzeichnet, so geht es ans Ausmessen der Platte. Da auf dieser sich immer ein oder mehrere größere Sterne befinden werden, deren Örter am Himmel genau bekannt sind, so kann man mit deren Hilfe nun auch die Lage des Planeten am Himmelsgewölbe leicht finden und mit den vorliegenden Berechnungen der jeweiligen Örter die bereits bekannten Planeten vergleichen. Eventuell hat man einen neuen Himmelskörper gefunden. Der Strich zeigt die Richtung und Schnelligkeit seiner Bewegung an, so daß man nach dem Zeugnis der Platte anzugeben vermag, wo man etwa anderen Tages den Neuling im Fernrohre zu suchen hat, um ihn weiter zu verfolgen.

So liefert die photographische Entdeckung der kleinen Planeten abermals ein Beispiel dafür, wie Umstände, die für einen gewissen Zweig der Forschung ein schwer zu

überwindendes Hindernis bilden, auf einem anderen Gebiete einen wertvollen Fortschritt zeitigen können, ähnlich wie wir es bei Gelegenheit der Farbenzerstreuung sahen, ohne welche die Spektralanalyse nicht bestehen könnte. Der Himmelsphotographie setzte namentlich die Bewegung der Himmelskörper ein höchst unbequemes Hindernis entgegen; für die kleinen Planeten aber ist gerade ihre Bewegung das Verräterische. Ohne sie würde die Photographie hier keinen wesentlichen Vorsprung vor den älteren Methoden zu verzeichnen gehabt haben.

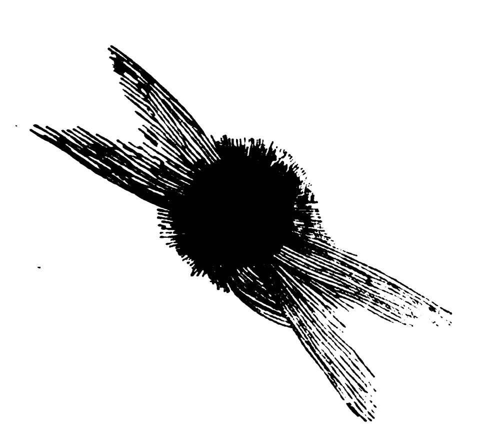
Die Photographie kommt uns auch bei der Sonnenbeobachtung außerordentlich zustatten. Es hat sich gezeigt, daß auf der Oberfläche der Sonne äußerst heftige und schnelle Veränderungen vor sich gehen, die das langsam auffassende Auge nicht mehr festhalten könnte, und die sich außerdem mit den Einflüssen der Luftwallungen so sehr vermischen, daß man beim direkten Sehen die wahren von den scheinbaren Veränderungen häufig nicht mehr zu trennen vermag. Auch bei den etwas langsamer vor sich gehenden Veränderungen der Sonnenflecke hat der Zeichner am Fernrohr oft Mühe, mit den Ereignissen Schritt zu halten, und niemals wird natürlich eine Handzeichnung so treu wie die in einem unfaßbar kurzen Momente hergestellte Photographie der Sonne. Bei so ungemein kurzen Expositionszeiten fallen alle die Übelstände weg, welche die Aufnahme des Mondes und der Planeten erschwerten, denn während dieses Momentes hat sich der Zustand der Luft nicht verändert, verschiedene Bilder desselben Details konnten sich nicht übereinander lagern und gegenseitig verwischen. Das Fernrohr kann natürlich während dieser Zeit ganz feststehen; die Mängel des Uhrwerkes kommen also gleichfalls für die photographische Aufnahme der Sonne nicht in Betracht. Freilich darf man nicht außer acht lassen, daß die lichtbrechende Wirkung der „Luftschlieren" nun so auftreten, als wäre eine ganz feste, schlecht geschliffene oder schlecht abgekühlte Glaslinse noch vor das Objektiv gesetzt. Oft erscheinen deshalb große Partien des Sonnenbildes gänzlich unscharf, als ob man schlecht eingestellt hätte (s. die obenstehende Abbildung). In der Tat hat sich dann eine Luftpartie gerade im Momente der Exposition vorgeschoben, deren Brechungsvermögen den Brennpunkt des Objektivs verlegte. Oft auch zeigen zwei sehr schnell nacheinander

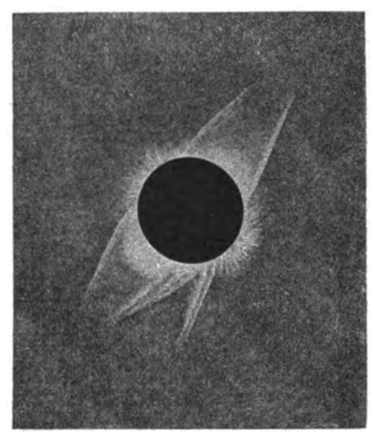


Photographie eines Teiles der Sonnenoberfläche. Nach einer Aufnahme von Janssen in Meudon bei Paris.

aufgenommene Bilder der Sonne ein ganzes Gebiet von Einzelheiten wesentlich gegeneinander verschoben, während innerhalb dieses Gebietes die Details dieselbe relative Lage beibehalten haben. Dies kann gleichfalls nur durch Veränderungen des Brechungsvermögens der Luft erklärt werden. Durch oftmalige Wiederholung der Aufnahmen läßt sich indes immer der Einfluß der Luft feststellen und der Schein von der wahren Veränderung trennen. Auf vielen Sternwarten, unter anderen namentlich auch in Potsdam, werden auf diese Art täglich mehrere Sonnenaufnahmen gemacht und dadurch ein Archiv hergestellt, in dem die Sonne selbst ihre Geschichte treu verzeichnet.

Sehr wesentliche Dienste leistet die Photographie ferner in den seltenen Augenblicken einer totalen Sonnenfinsternis, wiederum wegen der Schnelligkeit und der Treue ihrer Arbeit. Bei Sonnenfinsternissen zeigt sich rings um den Zentralkörper herum das noch immer nicht völlig aufgeklärte Phänomen der Korona, d. i. ein matter Licht-





Ältere Zeichnungen der Sonnenkorona. Von Astronomen des Harvard-College-Observatoriums (Nordamerika) ausgeführt.

schimmer, der die Sonne dann wie ein Heiligenschein umgibt und nur während der wenigen Minuten der Totalität auftritt. Wenn nun auch die Photographie zu deren Aufzeichnung eine erheblich längere Zeit braucht, als wenn sie ein Bild von der Sonnenoberfläche mit ihrer überwältigenden Lichtfülle entwirft, so kann man doch während einer Finsternis eine ganze Anzahl von Aufnahmen der Korona machen, die der Zeichner vordem mit Mühe in ihren rohesten Umrissen festhalten konnte. Daß bei dieser Hast und in der Aufregung des seltenen Augenblickes manche Fehler unterliefen, und daß namentlich die subjektive Auffassung das Bild trüben mußte, ist begreiflich. Wir brauchen bloß eine der älteren Zeichnungen der Korona, wie wir sie in obenstehenden Abbildungen bringen, mit einer Photographie derselben zusammenzuhalten (S. 294 u. 295), um sofort die Unzulänglichkeit der Handzeichnung in die Augen springend zu machen.

Auch bei Gelegenheit der beiden Venusdurchgänge des vergangenen Jahrhunderts hat die Photographie wegen ihrer Schnelligkeit und Objektivität bei den wichtigsten Untersuchungen wertvolle Hilfe geleistet. Es handelte sich bei diesen Erscheinungen vorwiegend darum, durch die Feststellung der Lage der Venus auf der Sonnenscheibe an verschiedenen Orten der Erde die Entfernung des Zentralgestirns von uns zu ermitteln. Da es hierbei auf die Ermittelung sehr kleiner Winkelgrößen ankam, die innerhalb der Fehler

des Auges und des Instrumentes liegen, so mußten möglichst viele Messungen gemacht werden, damit zufällige Fehler um so leichter erkannt werden konnten. Die direkten Messungen aber am Fernrohre nehmen Zeit in Anspruch; es konnte deren also nur eine beschränkte Anzahl während der Dauer des Phänomens ausgeführt werden, dagegen gelangen leicht Hunderte von Sonnenphotographien in derselben Zeit. Auf ihnen fand sich das Bild der Venus verzeichnet, und man konnte seine Lage zum Sonnenrande beliebige Zeit nachher am Arbeitstisch in aller Ruhe ausmessen. Dabei hat sich erwiesen, daß die photographischen Resultate der Beobachtung des letzten Venusdurchganges mindestens ebenso wertvoll sind wie die der direkten Messung.

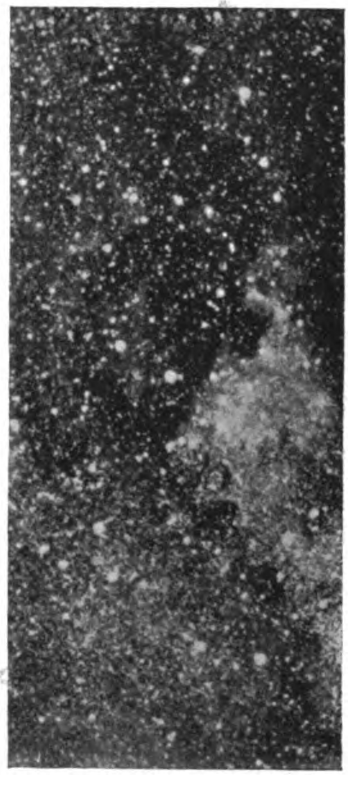
Eine wesentliche Verschiedenheit des photographischen Bildes von dem in unserem Auge erzeugten, die in gewissem Sinne dem Fehler der Farbenzerstreuung des Fernrohres entspricht, liegt in der verschiedenen Farbenempfindlichkeit der Platte. Das Auge sieht Farben, die photographische Platte nur Helligkeitsunterschiede. Selbst diese aber entsprechen nicht den Abstufungen, wie sie unser Auge empfindet. Blaue Gegenstände, die uns ziemlich dunkel erscheinen, stellen sich auf der Platte beinahe wie weiße dar, während gelbe dunkel auftreten, und Gelb gerade ist die Farbe, durch die wir das Leuchtende, das Helle, wiederzugeben pflegen.

Bringt auf der einen Seite diese Verschiedenheit der Auffassung des Auges und der Platte eine unliebsame Verwickelung in unsere photographischen Untersuchungsmethoden, so ist sie auf der anderen Seite wiederum die Ursache höchst interessanter Entdeckungen geworden, die wir der Platte ganz allein verdanken, während sie in allen übrigen Fällen das direkte Sehen nur unterstützen konnte. Die photographische Platte hat nämlich erwiesen, daß es im Himmelsraume Welten von ungeheurer Ausdehnung gibt, welche die Sendboten des Äthers in sehr heftige Schwingungen versetzen und dennoch vom menschlichen Auge niemals gesehen werden können. Diese Welten strahlen sogenanntes ultraviolettes Licht aus, für das unsere Augennerven unempfindlich sind. Die letzteren sind nur für Geschwindigkeiten von Atomstößen abgestimmt, die zwischen gewissen Grenzen liegen. Was darüber oder darunter liegt, wird nicht mehr als Licht erkannt.

Zu wiederholten Malen hat man auf photographischen Aufnahmen ausgedehnte Stellen entdeckt, die auf den Negativen kräftig geschwärzt erschienen und bei Wiederholung derselben Aufnahme immer wieder in dergleichen Lage zu den umstehenden Sternen auftraten (s. die Abbildung S. 51 des sogenannten Nordamerikanebels im Sternbilde des Schwanes), während am Himmel hier durch das Fernrohr nur ein schwacher Schimmer zu entdecken war. Es ist vorgekommen, daß eine solche Stelle auf einer Platte bemerkt wurde, auf der sich auch noch eine andere ähnliche befand, die aber von einem bekannten Nebelfleck herrührte. Beide Flecke hatten die Platte nahezu gleichstark geschwärzt, und doch war der eine mit den besten Fernrohren nicht direkt sichtbar zu machen, während der andere so hell leuchtet, daß man ihn unter besonders guten Luftverhältnissen schon mit dem unbewaffneten Auge wahrnimmt. Der eine strahlt also nur unsichtbares Licht aus. Hier leistet die Photographie einen sehr interessanten Beitrag zu der Astronomie des Unsichtbaren, von der wir in den folgenden Abschnitten noch manche merkwürdige Dinge zu berichten haben werden. Dort, in jenen unermeßlich fernen Himmelsweiten, in die wir diese Nebelflecke versetzen müssen, schwirren Gasatome, die sich zu einer neuen Welt zusammenzuschließen trachten, noch derartig wild durcheinander, daß sie den umliegenden

Äther in so heftige Schwingungen versetzen, wie sie unsere nur für die ruhigeren Verhältnisse einer fertigen Welt eingerichteten Sinne nicht mehr aufzufassen vermögen.

Durch die Pforten unserer fünf Sinne muß die ganze Welt eingehen, die wir begreifen können; aber nur zwei derselben können außerirdische Eindrücke empfangen und unserem Geiste melden: das Gesicht und allenfalls noch das Gefühl, das uns die Wärme der Sonne empfinden läßt. Doch nur die Sonne mit ihrer allgewaltigen Strahlenfülle verrät sich diesem verhältnismäßig rohen Sinne. Wollen wir feinere Untersuchungen über die Wärme der uns umgebenden Körper anstellen, so müssen wir ihre Wirkung sichtbar machen durch das Thermometer oder andere vollkommenere Einrichtungen, die wir später noch kennen lernen werden, und ebenso geht es mit allen anderen Sinnen: das letzte Mittel ist immer der Gesichtssinn. Aber im Falle jener ultravioletten Nebel versagt auch dieser, ist auch dieser noch zu grob. Da stellt sich noch etwas Empfindlicheres als unser Auge zwischen uns und jene unsichtbare Welt und verrät uns ihre Existenz dennoch: die Platte hält die Wirkung der allzu heftigen Schwingungen fest und stimmt sie herab auf die tiefere Oktave der menschlichen Empfänglichkeit.



Ultravioletter Nebel im Sternbild des Schwanes, photographisch entdeckt von Max Wolf in Heidelberg. Vgl. Text, S. 50.

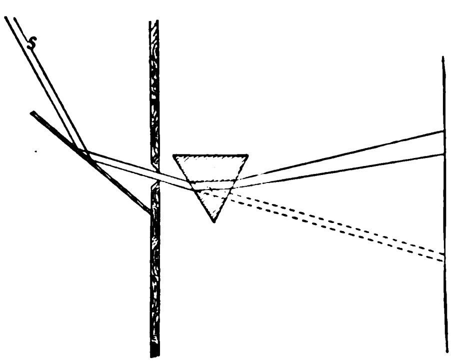
All unsere wissenschaftlichen Beobachtungsmethoden streben immer mehr der automatischen Registrierung zu, wie sie die photographische Platte ausführt. Es ist dies eine Folge der Einsicht, daß bei der andauernd überhandnehmenden Fülle der Arbeit eine möglichst zweckmäßige Zeiteinteilung eintreten muß. Die Erforschung des Himmels kann, nachdem die Platte seinen Zustand registriert hat, zu jeder beliebigen Zeit in Angriff genommen werden, und es können Kräfte dabei verwendet werden, die sich nun nicht mehr durch die immerhin mehr oder weniger mechanische Arbeit des Beobachtens abnutzen. In diesem Sinne, als das unbedingt treue, unvergängliche Gedächtnis des Astronomen, wird die Himmelsphotographie stets ihre eigentliche Aufgabe finden und einstmals sicher *alles* direkte Beobachten überflüssig machen. Heute freilich, während des unvermeidlichen Übergangsstadiums, müssen noch immer, um die Resultate der alten auf die neue Methode überleiten zu können, die Augen des Menschen sich direkt mit den Sternen in Verbindung setzen.

Auf der photographischen Platte schreiben die schnellfüßigen Sendboten aus dem Universum ihre Depeschen selbst auf, damit wir sie nachträglich zu beliebiger Zeit lesen können, und wir haben vorhin gesehen, daß wir uns in den meisten Fällen auf die Treue dieser Aufzeichnungen verlassen dürfen, ja daß beinahe überall, wo eine Differenz zwischen der Lesart des Auges und der Platte vorliegt, letztere den Vorzug verdient. Die Himmelsphotographie hat die Brücke zwischen uns und den Sternen erweitert und befestigt.

---

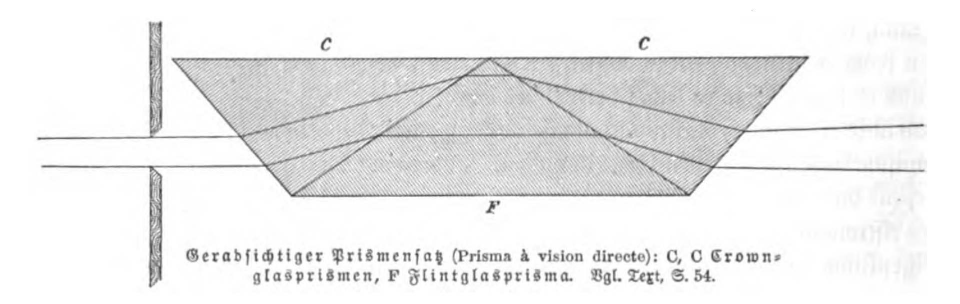
4. Die Spektralanalyse.

Die Physik lehrt (siehe auch deswegen die betreffenden Kapitel des schon erwähnten Werkes „Die Naturkräfte"), daß das weiße Licht aus einem Gemisch aller überhaupt denkbaren Farben besteht. Es ist für die astronomische Forschung von der größten Bedeutung geworden, dieses weiße, oder sonst zu uns von den Sternen herkommende Licht in seine einzelnen Farbenbestandteile zu zerlegen.



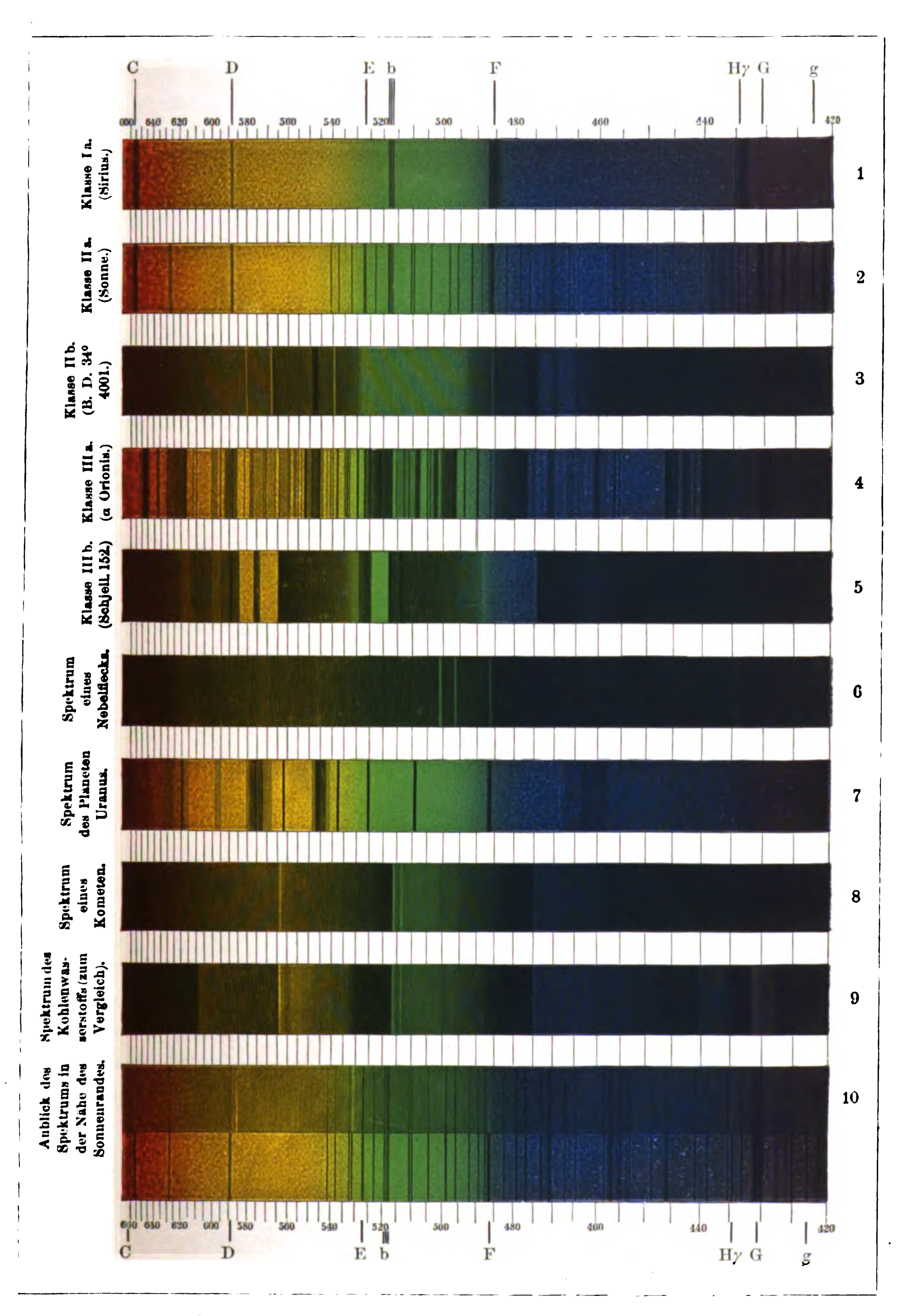
Farbenzerstreuung des weißen Lichtes im Prisma.

Jede dieser Farben entspricht einer bestimmten Wellenlänge der Ätherschwingungen, die unser Auge als Licht wahrnimmt. Wir haben schon früher ein Mittel für diese Zerlegung des Lichtes gefunden, als wir uns mit der Konstruktion des Fernrohres befaßten. Wir sahen dabei, daß jede Glaslinse das weiße Licht in seine einzelnen Farben trennt, und es bedurfte bekanntlich all unserer Kunst, um diese höchst störende Farbenzerstreuung durch eine Kombination von zwei Linsen nahezu aufzuheben. Dieser Übelstand auf der einen Seite kommt uns aber hier trefflich zustatten. Der hauptsächliche Teil desjenigen Instrumentes, das zur Trennung der Farben verwendet wird, des Spektroskops, besteht aus einem Glaskörper, den man als ein vergrößertes Element einer solchen Linse bezeichnen kann. Es ist ein Glaskeil, ein Prisma. Daß man durch ein Prisma alle Gegenstände mit farbigen Rändern sieht, ist allbekannt. Die Ursache dieser Erscheinung ist uns schon geläufig: wir entdeckten sie in dem verschiedenen Widerstande,



Geradsichtiger Prismensatz (Prisma à vision directe): C, C Crownglasprismen, F Flintglasprisma. Vgl. Text, S. 54.

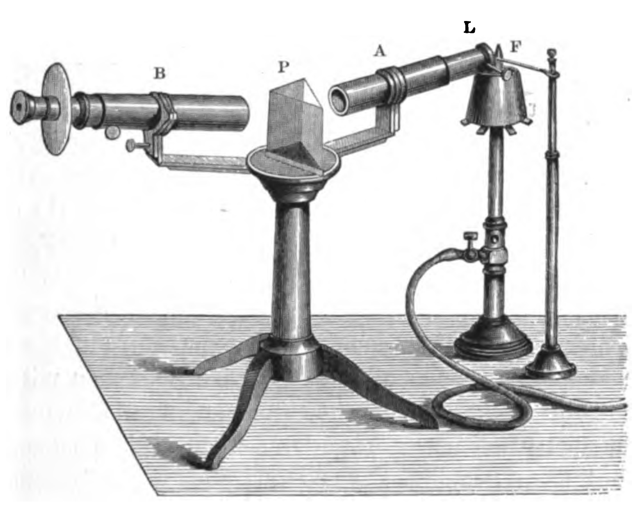
den die lichtschwingenden Ätheratome in den verschiedenen von ihnen durchdrungenen Substanzen finden. Wir wissen auch bereits, daß die Ablenkung in der Weise erfolgen muß, wie es die obenstehende Abbildung angibt, in der S ein von der Sonne kommendes Lichtbündel bezeichnet, das mittels eines Spiegels durch den Spalt auf das Prisma geleitet wird; der rote Strahl läßt sich nicht so weit ablenken wie die übrigen, aus denen der ursprüngliche, weiße Strahl bestand, der violette dagegen am stärksten. Da uns schon der Spiegel zeigt, daß wir immer die Gegenstände in der Richtung sehen, aus der der letzte Teil des in unser Auge gelangenden Strahles kommt, so werden wir durch ein Prisma einen roten Gegenstand an einer anderen Stelle erblicken als einen violetten, wenngleich beide



Spektren verschiedener Himmelskörper.

sich in derselben Richtung befinden. Leuchtet also ein Körper zugleich in verschiedenen Farben, so wird das Prisma für jede Farbe ein besonderes Bild von ihm entwerfen, ein jedes wird sich an das andere reihen, so daß wir nun den Gegenstand mit den wohlbekannten farbigen Rändern sehen, weil hier die verschiedenen Bilder übereinander greifen, während in der Mitte sich die Farben wieder zu weiß zusammenfinden. Derselbe Umstand bewirkte, daß wir in einem nicht achromatischen Fernrohr keine scharf umgrenzten Bilder erhielten.

Zu dem uns vorschwebenden Zwecke brauchen wir die zu untersuchenden Objekte gar nicht scharf zu sehen, ja wir wollen überhaupt nicht sie selbst sehen, sondern nur ihre einzelnen Farben so nebeneinander geordnet, wie wir sie am Rande des Bildes, z. B. von einem Hause, im Prisma erblicken. Es liegt also nahe, in ein zu diesem Zwecke zu konstruierendes Instrument überhaupt nur das Licht von diesem Rande gelangen zu lassen. Dies geschieht einfach dadurch, daß man vor das Prisma eine ganz feine, linienförmige Öffnung, einen Spalt, setzt, durch den allein das zu analysierende Licht eingelassen wird. Dieser Spalt, der ohne das Prisma nur eine Lichtlinie auf einem dahinter gehaltenen Schirm entwerfen würde, wenn das Sonnenlicht hindurchscheint, zeichnet mit Hilfe des Prismas ein schönes farbiges Band, weil jede Farbe, aus der das Sonnenlicht besteht, ihre Linie neben der anderen auf den Schirm wirft. Dieses farbige Band hat man das Spektrum des betreffenden leuchtenden Objektes genannt. Das Spektroskop, durch das es beobachtet wird, besteht im wesentlichen eigentlich nur aus jenem Spalt und dem Prisma; alle anderen Dinge, die sich darum gruppieren, dienen nur dazu, das Bild des Spaltes oder den forschenden Blick zu verschärfen und genaue Messungen des Gesehenen zu ermöglichen. Die obenstehende Abbildung veranschaulicht den ungemein einfachen Apparat, dessen Wirkungen, recht gedeutet, doch imstande waren, uns in der Zeit von wenigen Jahrzehnten, seit denen er der Durchforschung des Himmels dient, ganz ungeahnte Aufschlüsse über die Beschaffenheit der fernsten Welten zu geben.



Das Spektroskop. (Buchstabenerklärung im Text.)

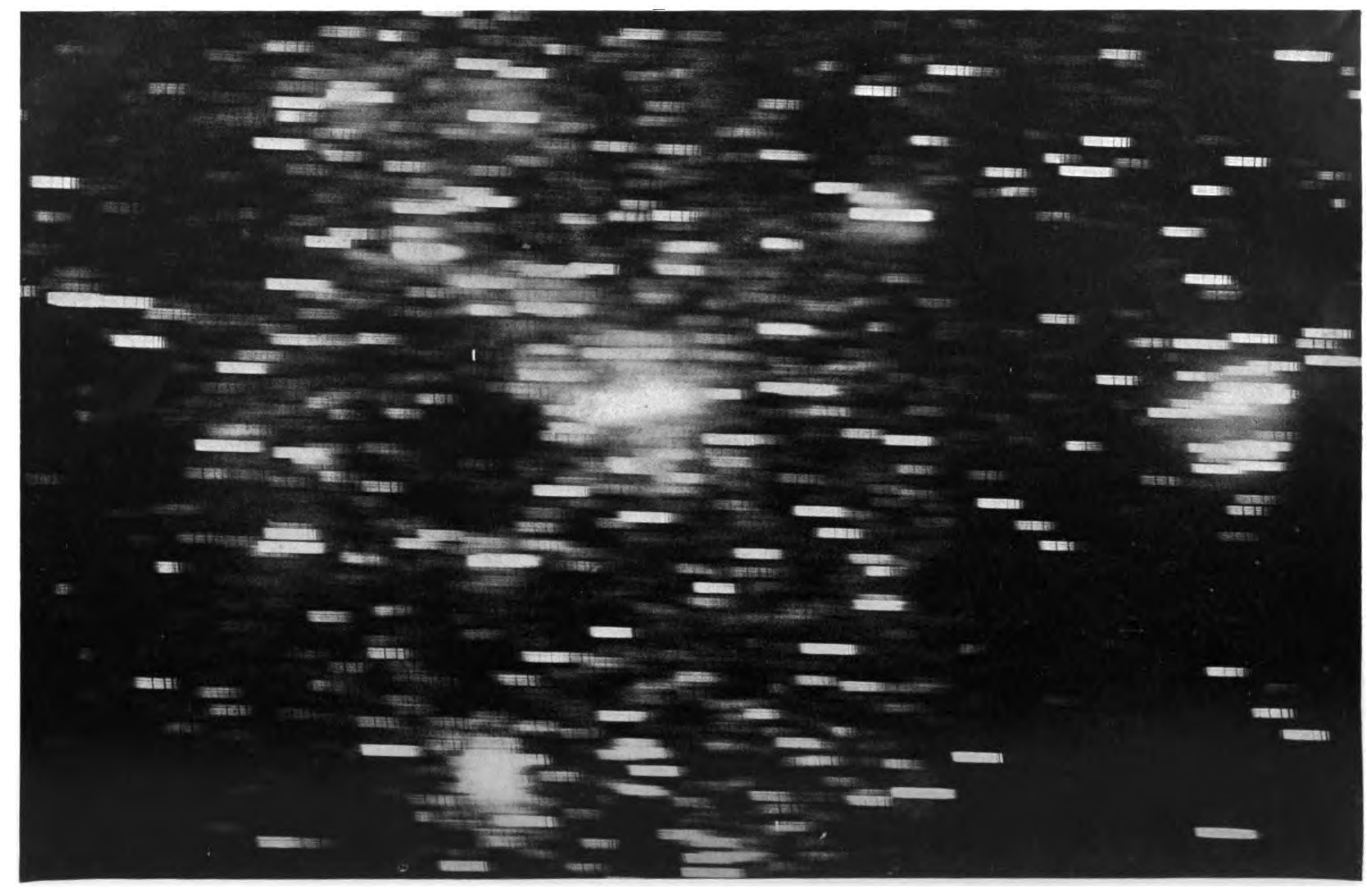
Auf dieser Abbildung sieht man rechts die Flamme F, in der ein Stoff verbrannt wird, dessen Farbenausstrahlung durch das Spektroskop untersucht werden soll. Der Schieber L enthält den Spalt, dessen Weite regulierbar ist. Das kleine Fernrohr A dient zum Zusammenhalten der Strahlen des Spaltes, die sonst wegen der großen Nähe der Flamme divergierend sich zerstreuen müßten. Man nennt diesen Teil das Kollimatorfernrohr. Bei P steht das Prisma, das die Spaltlinie zum Spektralband auseinanderzieht, und durch das Fernrohr B wird dieses Band vergrößert beobachtet.

Selbstverständlich treten in der Praxis die Spektroskope für die verschiedenen Verwendungen in mannigfach veränderter Form und Zusammensetzung auf. Für ihre Anwendung

auf die Fixsterne, die ja für uns nur leuchtende Punkte sind, kann außer dem Kollimatorfernrohr auch die ganze Spaltvorrichtung wegbleiben, da der Strahl hier schon an sich schmal genug ist. Wir werden sogar im Spektroskop von einem Stern überhaupt ohne weiteres nur eine farbig auseinandergezogene Linie erhalten, kein Spektralband. Um dies zu schaffen, muß man vor dem Prisma noch eine sogenannte Zylinderlinse einschalten, die einen Stern an sich schon als Linie erscheinen läßt; diese Linie wird alsdann durch das Prisma zum Band ausgebreitet. Ferner hat man eine Zusammenstellung von Prismen erdacht, durch die man die lästige Ablenkung der Strahlen vermeidet, die mit der Brechung im Prisma verbunden ist. Es wird dadurch begreiflicherweise das Auffinden eines himmlischen Objektes sehr erschwert, weil man das letztere im gewöhnlichen Spektroskop in einer ganz anderen Richtung sieht, als die Strahlen ursprünglich haben. Wie die Lichtstrahlen durch diese „Spektroskope mit direkter Durchsicht" gehen, ist aus der schematischen Abbildung auf S. 52 zu ersehen.

Endlich hat man das Okular- und das Objektivspektroskop zu unterscheiden, von denen das erstere fast ausschließlich angewendet wird. Es wird, wie sein Name andeutet, im Fernrohre da angebracht, wo sich sonst das Okular befindet, kann also verhältnismäßig klein sein. Allerdings kann dabei das Instrument immer nur auf einen einzigen Stern gerichtet werden. Beim Objektivspektroskop dagegen liegt ein großes Prisma dicht vor dem Objektiv. Die Bilder aller Sterne, die man unter gewöhnlichen Verhältnissen mit dem Fernrohr übersehen könnte, werden durch dieses Prisma zu schmalen Farbenbändern ausgezogen, die dann durch das Okular auf einmal zu betrachten sind. Auf der Sternwarte des Harvard-College in Cambridge (Nordamerika) und der bereits oben erwähnten mit dieser verbundenen Höhenstation in Arequipa führt man mit Hilfe eines solchen Objektivspektroskops seit einigen Jahren eine spektroskopische Durchmusterung des Himmels aus, zu der man in einer später näher zu erörternden Weise die Photographie zu Hilfe nimmt. Es wurden dort schon Zehntausende von Sternspektren aufgenommen und untersucht. Für solche Massenaufnahmen ist das Objektivspektroskop dem am Okularende angebrachten Spektroskope vorzuziehen, aber man kann mit ihm nicht so feine Detailuntersuchungen anstellen. Auf nebenstehender Tafel ist eine solche spektroskopische Aufnahme wiedergegeben, die mit einem achtzölligen Refraktor mit Objektivprisma in einer Stunde Expositionszeit in Arequipa erhalten wurde. Sie enthält die Spektren von mehreren hundert Sternen in der Umgebung des Sternes η Carinae, im Zuge der Milchstraße auf der südlichen Himmelshälfte. In den hellen Bändern der Spektren erkennt man dunkle Linien, deren Bedeutung wir sogleich kennen lernen werden.

Mit den Spektroskopen vermögen wir die verschiedenen uns von einem leuchtenden Körper zugesandten Lichtsorten voneinander zu trennen, um sie gesondert zu untersuchen. Wenden wir unser Prisma zunächst einer irdischen Lichtquelle zu, die unserer Kontrolle zugänglich ist, z. B. einer Kerzenflamme, so erblicken wir im Spektroskop ein schönes, ununterbrochenes Farbenband, wie es unsere Tafel (bei S. 52) an erster Stelle zeigt, wenn man sich die wenigen dunkeln Linien wegdenkt. Alle erdenklichen Farbennuancen, deren es unendlich viele gibt, sind in dem Spektrum des Kerzenlichtes vertreten. Auf der einen Seite, am wenigsten von der geraden Richtung zwischen Kerze und Auge abgelenkt, hebt das Rot an, das ganz allmählich in leuchtendes Gelb und von diesem in Grün übergeht; ihm folgt ein großes blaues Gebiet, und dann endigt das Spektrum mit einem immer matter werdenden



Sternspektren.

Mit einem Objektivprisma aufgenommen in Arequipa, Südamerika.

Violett. In der angegebenen Reihenfolge muß also nach unserer Vermutung die Häufigkeit der Wellenschläge des Lichtes abnehmen. Das Leuchten der Kerzenflamme wird durch das helle Erglühen ganz fein verteilter Kohlenstäubchen hervorgebracht.

Es scheint also, als ob ein weißglühender Körper Lichtwellen von jeder Art und Kraft ausstrahlt, was wir in der Tat durch weitere Experimente bestätigt finden. Gleichviel welchen Körper wir auch weißglühend machen mögen, er wird immer, wenn wir ihn durch das Prisma betrachten, ein ununterbrochenes Farbenband, ein sogenanntes kontinuierliches Spektrum, erzeugen. Wir müssen nur bei diesem Experimente darauf achten, daß sich der untersuchte Stoff infolge der angewandten Hitze nicht zugleich verflüchtigt. Alsdann tritt nämlich eine wesentliche Veränderung des Spektrums ein. Wir können dies beobachten, wenn wir in die Kerzenflamme ein Körnchen Kochsalz streuen. Sofort glänzt eine bestimmte, schmale Partie im Gelb hell auf, bis das Salz verdampft ist. Machen wir das Experiment mit einer Flamme, die sehr wenig leuchtet und deshalb ein kaum bemerkbares Spektrum entwirft, z. B. mit einer Spiritusflamme, so erscheint sofort eine helle gelbe Linie an einer bestimmten unveränderlichen Stelle, sobald auch nur die geringsten Spuren von Kochsalz dort verbrennen.

Da nun jeder Stoff seine ihm eigentümlichen Spektrallinien hat, so können wir ihn an diesen erkennen, und zwar ist dies selbst bei den kleinsten Mengen möglich; ja, man hat allein durch ihre Spektrallinien eine ganze Anzahl von chemischen Elementen entdeckt, die in anderen Stoffgemischen nur in so geringen Mengen vorkommen, daß man sie durch die gewöhnlichen Methoden der analytischen Chemie niemals gefunden haben würde. Dazu gehören z. B. das Indium, das Thallium u. s. w. Die Entfernung, in der sich der zu analysierende Körper dabei befindet, spielt gar keine Rolle; es ist gleichgültig, ob der glühend leuchtende Dampf sich unmittelbar vor dem Spalte des Spektroskops befindet oder auf einem Berge am fernen Horizont oder auf jenen unendlich weiten Sternen. Wenn nur das Licht überhaupt noch seine Wellenschwingungen zu uns gelangen läßt, so wissen wir mit aller Bestimmtheit, von welcher Art von Stoffen es ausging.

So hat uns also dieses einfachste aller Forschungswerkzeuge, das Glasprisma, in den Stand gesetzt, die Stoffe zu ergründen, aus denen die Welt bis in ihre letzten Tiefen aufgebaut ist. Und noch mehr. Nicht nur über ihre chemische Zusammensetzung und demgemäß über ihre molekulare Beschaffenheit gibt uns das Spektroskop Auskunft, sondern es sagt uns sogar etwas über ihren Aggregatzustand aus, über ihre Wärmeverhältnisse und, was zu den erstaunlichsten Resultaten dieses Forschungszweiges gehört, über die Bewegungen der Himmelskörper. Wie würde man wohl noch vor etwa fünfzig Jahren einen Schwärmer verlacht haben, der behauptet hätte, daß es möglich sei, aus dem bloßen Anblick eines Feuers, das auf einem sehr entfernten Berge brennt, mit Sicherheit zu schließen, erstens, was dort verbrennt, seien es auch zwanzig und mehr zusammengemischte Grundstoffe, zweitens, ob das Feuer sich uns nähert oder von uns entfernt und um wieviel Kilometer in der Sekunde. Wir leisten dies heute, auch wenn das Feuer auf der fernsten Sonne des Firmamentes brennt.

Nicht unter allen Umständen aber gibt uns das Spektroskop Auskunft über die chemische Beschaffenheit der leuchtenden Körper, wie wir schon oben erfuhren, als wir das Licht einer Kerze durch das Prisma betrachteten. Das „kontinuierliche" Spektrum, das sich dabei zeigte, bleibt bei allen den Stoffen das gleiche (verrät also nichts über die chemische

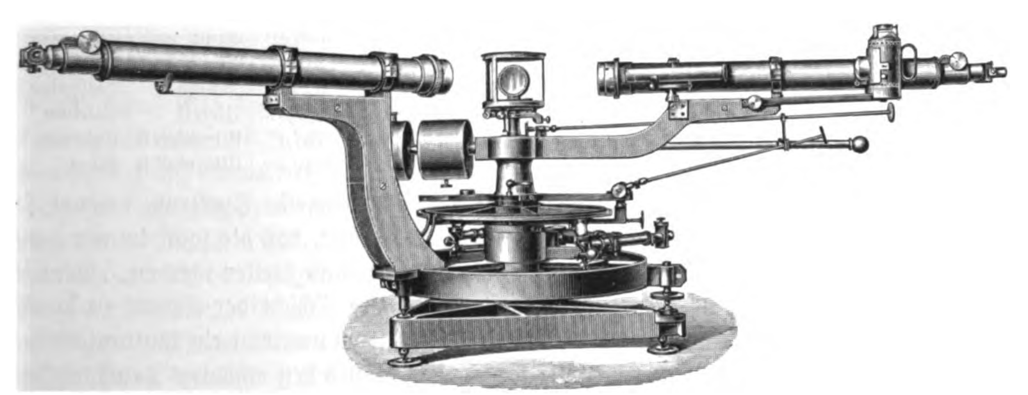
Beschaffenheit des leuchtenden Körpers), die im festen oder flüssigen Zustand nur glühen, nicht auch gleichzeitig verdampfen. Auch alle festen Körper, die nicht selbst leuchten, sondern wie der Mond uns nur durch erborgtes Licht in die Erscheinung treten, sagen uns in der farbigen Sprache des Spektroskops nichts über ihre innere chemische Beschaffenheit, bezw. über die ihrer Oberflächen aus; ihr Licht zeigt eben nur die Eigenschaften der ursprünglichen Quelle, der Sonne. Bei den weißglühenden festen Körpern aber wird der umgebende Äther in alle denkbaren Schwingungen versetzt, vom äußersten Violett bis in die Wärmestrahlen hinein, die von solchen Körpern stets mit ausgehen. Durch immer weiter fortschreitende Abkühlung hören zunächst die schnellsten, die violetten Schwingungen auf, dann die blauen, und so fort, bis endlich nur noch die roten übrigbleiben, der Körper in die Rotglut übergegangen ist; schließlich verlöschen auch diese, und nur Wärme wird noch ausgestrahlt. Bei diesem Abkühlungsvorgange zeigt sich im Spektroskop stets einzig und allein das kontinuierliche Farbenband, das aber, vom Violett angefangen, ganz allmählich nach dem roten Ende hin verschwindet. Kein Unterschied macht sich bei verschiedenen Stoffen bemerkbar. Das Spektroskop kann also in allen diesen Fällen keine anderen Dienste leisten, als daß es uns aussagt, in welchem Stadium zwischen Weiß- und Rotglut sich der betreffende Körper befindet. Man hat in der Tat auf diesem Wege die Temperatur der Fixsterne zu bestimmen vermocht.

Der Fall aber, daß ein fester Körper nur glüht, ohne auch teilweise zu verdampfen, tritt im Gebiete der Himmelsforschung nicht ein. Überhaupt werden in der Natur so reine Prozesse, wie wir sie meist unter den sorgfältigsten Vorsichtsmaßregeln im physikalischen Laboratorium ausführen, immer nur sehr selten vorkommen. Jeder glühende Körper wird stets einen Teil seiner Materie verdampfen, d. h. aus dem Gewirr seiner schwingenden Massenteilchen eine Anzahl von Molekülen ausstoßen, deren Atome nun ihre freie Beweglichkeit wieder erlangen und folglich den Äther in die ihnen eigentümlichen Schwingungen versetzen, solange sie noch kräftig genug bewegt sind, um überhaupt leuchten zu können. Wenn wir bei einer glühenden Eisenkugel solche Moleküle nicht bemerken, so liegt dies daran, daß deren zu wenige sind, und daß selbst diese wenigen sofort nach allen Richtungen entweichen. Anders aber verhält es sich mit den ungeheuern glühenden Kugeln, die wir durch die Weltenräume schweben sehen: sie halten die ausgestoßenen Moleküle fest und bilden mit ihnen eine heiße sie umhüllende Atmosphäre. Diese aber können wir, wie aus dem Vorangegangenen erhellt, sehr genau auf ihre chemische Zusammensetzung durch das Spektroskop prüfen.

Wo wir die Gase allein sehen, treten dann jene hellen Linien auf, deren Entstehung und Bedeutung wir bereits kennen gelernt haben. Sie zeigen sich z. B. hart am Sonnenrande, wo wir ausschließlich die Atmosphäre der Sonne sehen, die ihr glühender Ball um sich festhält (vgl. Fig. 10 der Tafel bei S. 52). Ganz anders gestaltet sich aber der Anblick, wenn man das Spektroskop auf den Körper der Sonne selbst richtet. Wir sehen dann zunächst das kontinuierliche Spektrum einer glühenden Masse. Darüber lagern sich an denselben Stellen, wo die betreffenden Gase im für sich allein glühenden Zustande helle Linien hervorbringen würden, nunmehr *dunkle* Linien. Das Spektrum wird „umgekehrt". Es entstehen die sogenannten *Fraunhofer*schen Linien im Sonnenspektrum und in dem der übrigen Fixsterne. Wie diese Umkehrung physikalisch zustande kommt, kann hier nicht weiter erörtert werden. Sie ist zu vergleichen mit dem Vorgange, der die Saite

eines Musikinstrumentes mitschwingen läßt, wenn sie von Luftwellen getroffen wird, die sie, angeschlagen, selbst erzeugen würde.

Die Umkehrung des Spektrums hat man selbstverständlich nicht nur an außerirdischen Körpern nachgewiesen; sie bildet eins der interessantesten Experimente jedes populären Vortrages über Spektralanalyse. Die Versuche lehren, daß jede so entstehende dunkle Linie stets genau an derjenigen Stelle erscheint, an der sonst die entsprechende helle auftritt. Die „Emissionsspektren" (d. h. die mit hellen Linien) der glühenden Gase fallen genau mit den „Absorptionsspektren" zusammen. Da wir nun die Emissionsspektren in unseren Laboratorien mit Leichtigkeit jederzeit erzeugen können und folglich auch die Lage ihrer Linien zueinander mit aller Genauigkeit zu bestimmen vermögen, so können wir anderseits die gleichfalls ihrer Lage nach bestimmten dunkeln Linien in dem Spektrum von Gestirnen mit den von bekannten Stoffen erzeugten identifizieren, und wir wissen dann, daß



Das Spektrometer des Astrophysikalischen Observatoriums in Potsdam. Nach Photographie.

den betreffenden Himmelskörper eine Gashülle umgibt, die relativ kälter ist als der glühende Kern und die Elementarstoffe enthält, deren Linien aufgefunden wurden. Für feinere Messungen hat man entsprechend feine mikrometrische Instrumente mit dem Spektroskop in Verbindung gebracht, mit denen man die Lage der Linien zueinander bestimmen kann. Es entsteht dadurch das S p e k t r o m e t e r. Das betreffende Instrument der Potsdamer Warte ist oben abgebildet.

Um sich in dem Gewirr von Linien, die einzelne Elemente und nun gar so komplizierte Gasgemenge wie das der Sonnenatmosphäre aufweisen, zurechtzufinden, hat man die Fraunhoferschen Linien mit den großen Buchstaben des Alphabets belegt, und zwar so, daß man mit A die erste auffällige Linie des Sonnenspektrums bezeichnet, die sich auf der roten Seite befindet. Die äußerste Linie im sichtbaren Violett des Sonnenspektrums trägt die Bezeichnung H, das ultraviolette Spektrum aber geht bis zu den Buchstaben R, S und darüber hinaus; anderseits wurden von Langley und anderen Forschern im infraroten Teile noch Absorptionslinien entdeckt, in denen die hier beobachtete Wärmestrahlung ebenso absorbiert wird wie in dem sichtbaren Teile des Spektrums das Licht bei den dunkeln Linien. Man käme in Verlegenheit, auch diesen Linien entsprechende Bezeichnungen zu geben, wenn man es für exakte Angaben nicht längst vorgezogen hätte, die Linien statt durch Buchstaben mit den Wellenlängen der hier fehlenden Lichtschwingungen des

kontinuierlichen Spektrums zu bezeichnen. Man kann dann auch in dem Falle nicht mehr über die Lage einer Linie im Zweifel sein, wo eine ursprünglich für einfach gehaltene Linie, wie die D-Linie des Natriums, sich bei genauerer Prüfung als doppelt herausstellt. Die nachstehende Tabelle enthält die Wellenlängen und Schwingungszahlen der hauptsächlichsten Fraunhoferschen Linien. Letztere sind unter der Voraussetzung einer Lichtgeschwindigkeit von 297,900 km berechnet, die Foucault und Fizeau fanden. Später fand Cornu fast genau 300,000 km.

Tabelle Fraunhoferscher Linien.

Bezeichnung der Linie	Wellenlänge in millionstel Millimeter	Schwingungszahl in Billionen pro Sekunde	Farbe der Linie	Zugehöriges Element	Bezeichnung der Linie	Wellenlänge in millionstel Millimeter	Schwingungszahl in Billionen pro Sekunde	Farbe der Linie	Zugehöriges Element
A	759,360	392,3	Rot	Sauerstoff	E_2	526,972	565,3	Grün	Eisen
B	686,746	433,8	Rot	Sauerstoff	F	486,148	612,8	Blaugrün	Wasserstoff
C	656,304	453,9	Orange	Wasserstoff	G	430,803	693,9	Indigo	Wasserstoff
D_1	589,616	505,2	Gelb	Natrium	H	396,862	750,6	Violett	Calcium
D_2	589,019	505,8	Gelb	Natrium	K	393,380	757,3	Ultraviolett	Calcium
E_1	527,050	565,2	Grün	Eisen	U	294,799	1010,5	Ultraviolett	Eisen

Wenn wir vorhin sahen, daß derselbe Stoff stets auch dasselbe Spektrum erzeugt, so trifft dies doch nicht ganz bedingungslos zu. Man beobachtet, daß die sonst immer ganz scharfen Linien eines Gasspektrums desto verschwommener und breiter werden, einem je stärkeren Drucke man das Gas aussetzt, oder eine je dickere Schicht der Strahl zu durchdringen hat. Endlich verschwinden die Linien ganz und bilden vereinigt ein kontinuierliches Spektrum. Die Ursache dieser Erscheinung liegt nahe. Durch den erhöhten Druck werden die einzelnen Molekularsysteme einander mehr und mehr genähert und dadurch in ihrer freien Bewegung gehemmt, und Ähnliches muß durch die zunehmende Dicke der zu durchdringenden Schicht geschehen; die entstehenden Störungen bringen Lichtschwingungen hervor, die sich um die normalen gruppieren. Schließlich zeigt das Gas im Spektroskop die Eigenschaften einer Flüssigkeit, noch ehe es die anderen physikalischen Eigenschaften einer solchen ganz angenommen hat; es tritt ein kritischer Zustand ein, in dem sich zweifellos das Innere der meisten Fixsterne befindet.

Nicht genug mit den vielartigen interessanten Botschaften, die uns das prismatisch zerlegte Licht aus den Tiefen des Universums bis zu unserem versteckten Erdenwinkel trägt, gibt es uns noch auf einem Gebiete, das weit abseits von dem bisher betretenen chemischen und physikalischen liegt, höchst wichtige Aufschlüsse, die auf gar keine andere Weise zu erforschen sein würden und bis um die Mitte des 19. Jahrhunderts gewiß noch für weniger erforschlich gelten mußten als selbst die chemische Beschaffenheit der Himmelskörper: ihre Bewegungen in der Gesichtslinie.

Wenn wir auf einer ganz geradlinigen Eisenbahnstrecke nachts die Lichter einer Lokomotive in weiter Ferne bemerken, so werden wir nicht eher darüber entscheiden können, ob der Zug stillsteht, auf uns zueilt oder sich entfernt, bis das Heller- oder Dunklerwerden der Lichter die Entscheidung gibt. Wie hätten wir es aber früher für möglich halten können, die zweifellos stattfindenden Bewegungen von Sternen zu ermitteln, die gerade auf uns zueilen oder sich ebenso von uns entfernen, da eine Veränderung ihrer Helligkeit infolge

dieser Bewegung wegen ihrer unermeßlich großen Entfernung von uns nicht in Jahrtausenden zu erwarten war? Es schien, als ob wir über die wahren Bewegungen der Fixsterne, d. h. über die Gesetze, die den größten Organismus der Weltsysteme regieren, niemals Aufschluß erhalten könnten, da wir immer nur den Teil davon durch Ortsveränderungen der Gestirne erkannten, der sich als seitliche Verschiebung am Himmelsgewölbe kundgab; dies konnte aber unter Umständen der kleinste Teil der eigentlichen Bewegung sein.

Das Spektroskop gibt uns nicht nur an, ob sich ein Stern direkt auf uns zu oder in entgegengesetzter Richtung bewegt, sondern läßt auch die Schnelligkeit dieser Bewegung in Kilometern berechnen, auch wenn wir über die Entfernung, in der diese Bewegung vor sich geht, gar nichts wissen, wie es meistens bei den Fixsternen der Fall ist. Unsere Erfahrungen über die unsichtbare Welt der schwingenden Atome werden uns eine Erklärung dafür geben, auf welche Weise dies möglich wurde.

Es hat sich gezeigt, daß wir die Erscheinungen des Lichtes durch Wellenbewegungen erklären können, die in jeder Hinsicht den Wellenbewegungen des Wassers vergleichbar sind. Wir wollen zu berechnen versuchen, wieviel Wellen wir durchkreuzen, indem wir sie durchsegeln. Daß wir deren mehr begegnen, wenn wir der Wellenbewegung entgegensteuern, als wenn wir ruhen oder gar mit den Wellen treiben, ist klar. Es kommt uns aber hier darauf an, genauer zu bestimmen, in welchem Verhältnis die Zahl der Wellenschläge, die unser Fahrzeug zu ertragen hat, bei einem gegebenen Verhältnis unserer Fortbewegung zu jener der Wellen selbst zunimmt, denn von der Anzahl der Lichtwellenschläge, welche die Netzhaut unseres Auges treffen, hängt die Farbe ab, die wir dabei empfinden. Nur ganz im allgemeinen könnten wir aus dem Vergleiche schon jetzt ableiten, daß uns ein Körper, der eine bestimmte Lichtart ausstrahlt, in anderer Farbe erscheinen muß, wenn wir uns gegen ihn in Bewegung befinden, als wenn beide, der leuchtende Körper und wir, ruhen, und zwar wird die Farbe mehr nach dem violetten Ende des Spektrums verschoben werden, wenn die Körper sich nähern, nach dem roten Ende dagegen, wenn sie sich voneinander entfernen. In dem einen Falle begegnen wir eben mehr, im anderen weniger Wellen als im Ruhezustand; eine höhere Schwingungszahl aber entspricht nach unserer auf S. 58 gegebenen Tabelle einer höheren Stelle in der Farbenskala im Sinne der Verrückung nach der violetten Seite hin.

Um zahlenmäßig genauer in diese Verhältnisse einzudringen, nehmen wir, zum Beispiel von den Wasserwellen zurückkehrend, zunächst den einfachsten Fall an, indem wir voraussetzen, wir bewegten uns ebenso schnell durch die Wellen, wie diese sich in bezug auf einen festen Punkt weiter fortpflanzen. Da wir ihnen dann auf halbem Weg entgegenkommen, müssen wir offenbar gerade noch einmal soviel Wellenkämmen begegnen, wenn wir direkt gegen den Wind auf sie zusteuern, als deren in derselben Zeit etwa an die Ufermauern schlagen würden. Gehen wir doppelt schneller als die Wellen, so treffen wir dreimal mehr an, bei dreifacher Geschwindigkeit viermal, und so fort.

Allgemein gefaßt gilt also der Satz, daß man um sovielmal mehr Wellen begegnet, als das Verhältnis der betreffenden Geschwindigkeiten beträgt, wenn man es noch um eins vermehrt. Verhalten sich z. B. die beiden Geschwindigkeiten wie 2:3, so begegnet man $1^2/_3$ mal mehr Wellen, als in derselben Zeit ans Ufer gelangen. In die mathematische Ausdrucksweise übersetzt, erhalten wir für diese Beziehungen die folgende einfache Formel: $s_2 = s_1 \left(1 + \frac{s}{v}\right)$, wo s_2 die Anzahl der Wellen bedeutet, denen wir begegnen, s_1 diejenige,



die in derselben Zeiteinheit (Sekunde) ans Ufer schlagen, g die Geschwindigkeit unseres Schiffes und endlich v die der Wellen in bezug auf einen ruhenden Punkt. Nehmen wir an, es schlügen in der Sekunde zwei Wellen ans Ufer, und sie bewegten sich dabei jedesmal um 5 m vorwärts, wir aber schifften den Wellen in der Sekunde um 3 m entgegen, so würden wir dabei $1^3/_5 \times 2 = 3^1/_5$ Wellen begegnen, oder 16 Wellen in 5 Sekunden, während in derselben Zeit doch nur 10 an das Ufer gelangen.

Wir können nun auch leicht die Aufgabe umkehren und beobachten, wieviel Wellen wir in der Sekunde durchschneiden, um daraus dann entweder die Geschwindigkeit unseres Schiffes oder die der Wellen zu berechnen, je nachdem das eine oder das andere vorher bekannt geworden ist. Nehmen wir an, die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Wellen sei bekannt, wie es z. B. bei denen des Lichtes der Fall ist, so finden wir die Geschwindigkeit unseres Schiffes durch die Formel: $g = v\left(\frac{s_2}{s_1} - 1\right)$, die nach den Regeln der Algebra aus der vorhin angeführten folgt. Setzen wir also den Fall, die absolute Geschwindigkeit der Wellen sei die gleiche wie oben, 2 m, während 6 Wellen in der Sekunde an das Ufer schlagen, und wir hätten während unserer Fahrt beobachtet, daß wir in der Sekunde 21 Wellen begegneten, so haben wir 21 durch 6 zu dividieren, 1 abzuziehen und endlich mit 2, der Geschwindigkeit der Wellen, zu multiplizieren, um dann als Resultat zu erhalten, daß unser Schiff 5 m in der Sekunde zurücklegt.

Nicht schwieriger als diese Erkenntnis ist es, unsere Bewegung gegen einen Stern hin oder, was im Prinzip dasselbe ist, die des Sternes gegen uns zu ermitteln. Wir kennen zunächst die Geschwindigkeit der Lichtwellen, die für alle Farben dieselbe ist (ca. 300,000 km in der Sekunde); wir können ferner die Anzahl von Wellen bestimmen, die in einer Sekunde von einer bestimmt gefärbten ruhenden Lichtquelle zu uns gelangt. Es bleibt also nur noch übrig, für den Fall, daß die Entfernung zwischen Lichtquelle und Beobachter sich verändert, die dadurch veränderte Schwingungszahl zu bestimmen.

Die eintretende Verschiebung der Farbenskala können wir aber durch die Fixpunkte auffinden, die uns in den Fraunhoferschen Linien gegeben sind. Das kontinuierliche Farbenband wird durch jene Verschiebung an sich nicht geändert: verschiebt sich sein ursprünglich roter Teil nach dem Violett hin, so wird doch das Rot sofort durch vorher unsichtbare, infrarote Strahlen ersetzt, die durch die Bewegung der Lichtquelle oder des Beobachters nun genügende Wellenlänge erhalten haben, um auf unserer Netzhaut den Eindruck des Rot hervorzubringen. Dafür werden dann auf der anderen Seite des Spektrums die letzten noch sichtbaren violetten Strahlen in unsichtbare ultraviolette verwandelt; das Aussehen, die Ausdehnung des Spektrums an sich wird also durch die Bewegung nicht verändert. Dagegen werden die im Spektrum vorkommenden dunkeln oder hellen Linien gegen ihre ursprüngliche Lage verschoben, da die erhöhte oder verminderte Schwingungszahl für diese Lage allein maßgebend ist. Eine bewegte Natriumflamme erzeugt also ihre D-Linie an einer anderen Stelle als eine ruhende; ebenso wird auch die entsprechende Absorptionslinie an einer anderen Stelle auftreten müssen. Erzeugen wir demnach in einem Spektralapparate, der im Spektrum eines Sternes etwa die D-Linie zeigt, noch ein anderes Natriumspektrum durch eine Flamme bei unserem Instrumente, die sich gegen dasselbe nicht bewegt, und finden wir, daß die beiden Natriumlinien nicht zusammenfallen, so wissen wir, daß der Stern sich bewegt. Und messen wir nun den Unterschied der Wellenlängen der beiden Linien, so können wir aus der zuletzt gegebenen Formel sofort berechnen, um wie viele

Kilometer in der Sekunde die Entfernung jenes Sternes von uns zu- oder abnimmt, obgleich wir über seine Entfernung selbst ganz und gar nichts wissen.

Man ist gegenwärtig imstande, das Spektralband in früher ungeahnter Weise auszubreiten, das Licht auf das kräftigste zu „zerstreuen". Es geschieht dies mittels sogenannter Rowlandscher Gitter: Hohlspiegel, deren Oberfläche in mikroskopischer Feinheit mit dicht aneinander gedrängten Linien überdeckt ist. Die zwischen den eingeritzten Linien entstehenden mikroskopischen Facetten bringen Interferenzerscheinungen hervor, die in erhöhtem Maße wie jene vorhin beschriebenen Glasprismen wirken. Mit einem solchen Gitter hat z. B. Thollon auf der Sternwarte zu Nizza ein Sonnenspektrum photographisch mit allen seinen Tausenden von Linien aufgezeichnet, das allein bis in das Grün hinein schon eine Ausdehnung von 10½ m hat. In diesem Spektrum entspricht in der Umgebung der D-Linie einem Unterschiede von einem Mikron (Millionstelmeter) in der Wellenlänge eine lineare Verschiebung auf dem veröffentlichten Spektrum von nicht weniger als rund 50 mm. Da man nun Zehntel des Millimeters noch sehr gut mit dem Auge zu schätzen vermag, so liest man auf jenem ungeheuern Spektrum noch einen Unterschied von einem 500stel eines Mikrons der Wellenlänge ab. Wir können aus unserer letzten Formel leicht berechnen, daß einer solchen Differenz der Wellenlänge fast genau 1 km Bewegung entspricht. Übrigens brauchen wir zu diesem Zwecke nicht erst auf die bisher immer nur in Betracht gezogenen Schwingungszahlen zurückzugreifen, denn da sich letztere umgekehrt verhalten wie die Wellenlängen, so können wir diese dafür in unsere Formel einführen, indem wir nur den Bruch $\frac{s_2}{s_1}$ umkehren, also dafür $\frac{w_1}{w_2}$ setzen, wobei w_1 und w_2 die betreffenden Wellenlängen bedeuten.

Also 1 km oder bei entsprechender Vervielfältigung der Beobachtungen im Mittelwerte sogar ½ km Bewegung in der Sekunde können wir noch durch die spektroskopische Methode (man nennt sie nach dem Vorgange von Cornu das **Doppler-Fizeausche Prinzip**) nachweisen. Das ist nach irdischem Maß allerdings immer noch eine enorme Geschwindigkeit, die von menschlichen Hilfskräften keiner Lichtquelle bisher erteilt werden kann. Auf der Erde selbst können wir also die Richtigkeit unserer bezüglichen Schlußfolgerungen noch nicht praktisch prüfen, obgleich auch in dieser Hinsicht durch die nie rastende Forschertätigkeit vielleicht noch ein positives Ergebnis erhofft werden darf. Dahin zielende Versuche sind bereits vorbereitet. Dagegen ist für die Weltkörper 1 km in der Sekunde eine relativ sehr langsame Bewegung. Wenn wir nun derartige Bewegungen innerhalb unseres Sonnensystems mit Gewißheit nachweisen, dann bietet sich hier eine willkommene Gelegenheit zur Kontrolle. So bewegt sich unsere Erde in ihrem Lauf um die Sonne nicht weniger als rund 30 km in der Sekunde vorwärts. Alle Lichtwellen also, die aus dem Weltraume von daher kommen, wohin gerade unsere Erde steuert, werden um die betreffende Größe verkürzt. Da aber die Bahn der Erde nahezu eine Kreisbahn ist, so wird die Bewegung nach einem halben Jahr offenbar in der umgekehrten Richtung stattfinden. Näherten wir uns vorhin gewissen Sternen um 30 km, so entfernen wir uns nun um denselben Betrag von ihnen. Die Linien müssen sich also nach unseren oben angestellten Berechnungen im Lauf eines halben Jahres sämtlich um den sehr beträchtlichen Weg von ca. 6 mm auf der Thollonschen Skala verschieben, was in der Tat beobachtet wird.

Ein noch stärkeres Beweismittel liefert die Sonne. Aus der Beobachtung ihrer Flecke war abzuleiten, daß sich unser Zentralgestirn wie unsere Erde um seine Achse dreht, und zwar so, daß ein Teil des Sonnenäquators sich in der Sekunde um etwa 2 km im Kreise



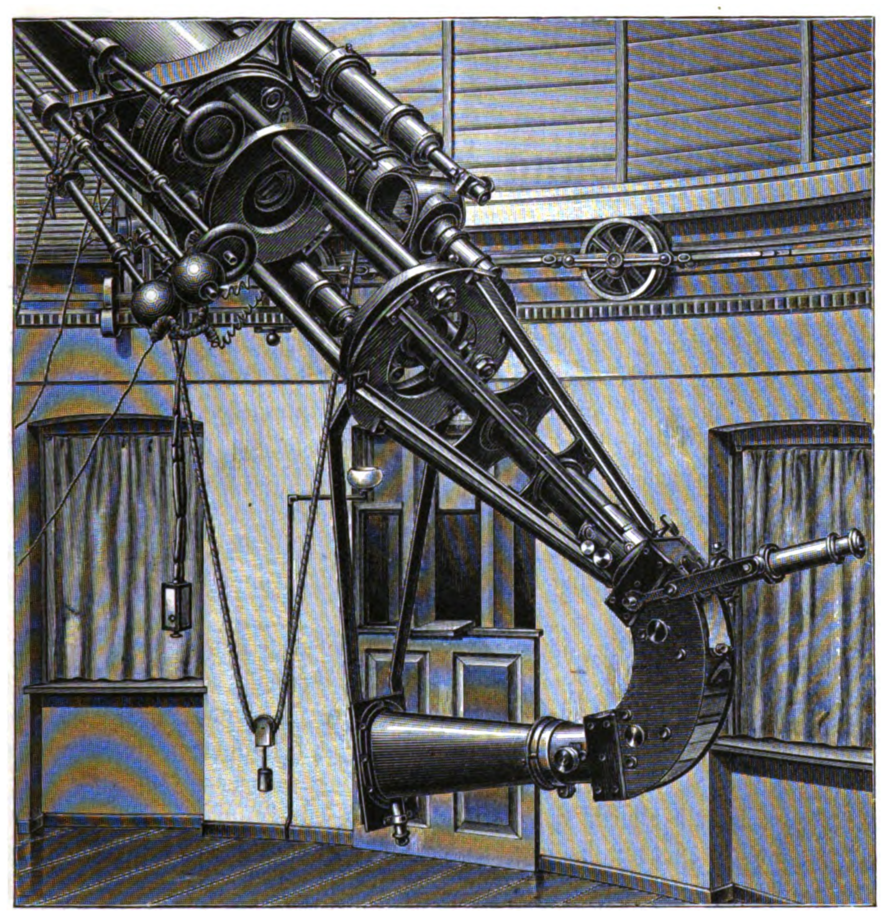
weiterbewegt. Nun findet aber für uns diese Bewegung am einen Sonnenrande von uns weg, am anderen zu uns her statt. Richtet man also ein Spektroskop auf jeden dieser beiden Ränder und läßt beide so entstehenden Spektren dicht nebeneinander fallen, so müssen die Fraunhoferschen Linien beider offenbar gegeneinander um 0,4 mm der Thollonschen Skala verschoben erscheinen, wenn die bisher angenommene zerstreuende Kraft angewandt wurde. Solche Verschiebung ist in der erwähnten Anordnung sehr deutlich; sie verschwindet aber sofort, wenn man das Instrument um 90 Grad dreht, so daß man beide Pole der Sonne beobachtet, wo keine Achsenbewegung stattfindet. Dieses schöne Experiment ist zuerst von Vogel in Potsdam praktisch ausgeführt worden.

Daß entsprechend dieser eigenartigen Aufgabe des Spektroskops, die Bewegungen der Himmelskörper in der Gesichtslinie zu ermitteln, besondere Modifikationen des Instrumentes gefunden worden sind, bedarf nur der Erwähnung. So konstruierte Zöllner sein berühmtes „Reversionsspektroskop" aus zwei Prismensystemen, von denen das eine die Farben in der umgekehrten Richtung bricht als das andere. Es entstehen mithin zwei Spektren untereinander derart, daß das eine sein rotes Ende gerade über dem violetten Ende des anderen hat. Die Linienverschiebung geht also in beiden in umgekehrter Richtung vor sich, und der Effekt verdoppelt sich. Für diese Art Forschung haben natürlich die Farben des Spektrums an sich gar keinen Wert mehr, sondern nur die im Spektrum erscheinenden Linien. Man kann deshalb auch die Photographie direkt in den Dienst der Spektroskopie stellen und erhält dann zugleich ein gutes Stück des unsichtbaren Spektrums hinzu, das allein auf der photographischen Platte erscheint. Auf dem Gebiete der Spektrographie hat sich namentlich das Potsdamer Observatorium hervorgetan, von dessen schönen Untersuchungen wir im Laufe der spezielleren Darstellung der Himmelserscheinungen noch häufig zu sprechen haben werden. In neuerer Zeit freilich haben die großen amerikanischen Observatorien mit ihren Rieseninstrumenten und fast unbeschränkten Mitteln alle anderen überflügelt. Wir geben auf Seite 63 die Abbildung des Potsdamer Spektrographen.

Wie ungemein fruchtbar sich die Anwendung des Dopplerschen Prinzips für die Erforschung der Fixsternwelt nach den verschiedenartigsten Richtungen hin erwiesen hat, wie sie die interessantesten Beiträge zur Astronomie des Unsichtbaren zu liefern vermochte, davon werden wir gleichfalls im folgenden häufiger zu berichten haben. Ebenso wollen wir hier verschiedene Verbindungen der Spektroskopie mit anderen Forschungsmethoden übergehen und nur noch einmal schnell wiederholen, was die Farbenanalyse des Lichtes uns über die Körper, von denen es ausgeht, zu verraten vermag.

Ist das Farbenband ununterbrochen, ein *kontinuierliches Spektrum*, so zeigt dies an, daß der Körper weißglühend ist, entweder im festen oder flüssigen Zustande. Unter Umständen könnte auch eine ungewöhnlich dicht zusammengepreßte Gasmasse vorliegen. Über die chemische Zusammensetzung des Körpers ist in diesem Falle nichts zu erfahren. Liegt ein aus einzelnen hellen Linien bestehendes Spektrum, ein *Emissionsspektrum*, vor, so haben wir es mit einer glühenden Gasmasse zu tun, deren chemischer Charakter aus der Lage der Linien hervorgeht. Die Unschärfe, also die allmähliche Verbreiterung dieser Linien, deutet auf einen sehr hohen Druck hin, dem die Gasmassen ausgesetzt sind. Haben wir es mit einem im allgemeinen kontinuierlichen Farbenbande zu tun, das nur an verschiedenen Stellen durch dunkle Linien oder breitere dunkle Stellen, *Banden*, unterbrochen ist, also mit einem *Absorptionsspektrum*, so ist damit erwiesen, daß

das Licht, das von einem in allen Lichtsorten ausstrahlenden Körper ausgeht, ehe es zu uns gelangt, Gasmassen durchdringt, die weniger heiß sind als jener strahlende Körper, unter Umständen sogar ganz kalt sein können wie unsere Atmosphäre. Die chemische Zusammensetzung dieser Gase wird durch die dunkeln Fraunhoferschen Linien angegeben.



Der Spektrograph des Astrophysikalischen Observatoriums in Potsdam. Vgl. Text, S. 62.

Zeigt ein Körper zwar bekannte Liniensysteme, die aber gegen ihre normale Lage verschoben auftreten, so ist damit erwiesen, daß sich die Entfernung des strahlenden Körpers von uns verändert. Die Kilometerzahl, um welche diese Entfernung in einer gewählten Zeiteinheit zu- oder abnimmt, ist aus der Größe der Linienverschiebung direkt abzulesen.

Nachdem wir alle diese verschiedenen Erkenntnisse über die Eigenschaften des Lichtes erworben haben, das der einzige Vermittler zwischen uns und den Welten außerhalb unseres engen Dunstkreises ist, suchen wir, bewaffnet mit dem Fernrohre, dem photographischen Apparat, dem Spektroskop und manchen anderen Instrumenten die Mitteilungen zu entziffern, die uns die zitternden Atomwellen aus dem Universum entgegenbringen.

I. Beschreibung der Himmelskörper.

Überblick.

Die Fülle des Lichtes, die uns am Tage umwogt, entspringt allein jener einen übermächtigen Lichtquelle, der Sonne, die den Luftkreis der Erde so mit Strahlen durchtränkt, daß die der anderen Himmelslichter darin völlig untergehen. Wohin man auch am Tage das Spektroskop richten mag, gegen den heiteren oder den wolkenbedeckten Himmel oder gegen irgend eine weiße Fläche, die vom Sonnenlichte direkt oder auch nur vom diffusen Tageslichte getroffen wird, immer erscheinen wieder dieselben Fraunhoferschen Linien, dasselbe Spektrum, das die Sonne selbst besitzt. Alle Lichtwellen, die uns bei Tage umschwirren, verraten ihren Ursprung aus der großen Quelle aller Bewegungen, aller Zustände unseres Daseins.

Erst wenn das Tagesgestirn sich zum Horizont herabneigt und in der tiefer und tiefer dunkelnden Dämmerung seine Strahlen die ganze Farbenskala des prismatisch zerlegten Lichtes vom heiteren Blau des Tageshimmels bis zum prangenden Rot des scheidenden Tages entfaltet haben, dann taucht ein Himmelslicht nach dem anderen flimmernd auf und erzählt von jenen anderen fernen Welten, die uns rings umgeben. Zuerst leuchtet wohl der Mond auf in seiner wechselnden Gestalt. Sein Anblick zeigt uns unmittelbar wie die Sonne, daß wir es hier mit Gestirnen zu tun haben, die wenigstens für uns eine Sonderstellung unter den übrigen einnehmen. Dann kräftigen sich mit der zunehmenden Dunkelheit die Strahlen einiger leuchtenden Punkte, von denen ein besonders ruhiges Licht ausgeht. Es sind selten mehr als zwei dieser Gestirne zugleich am Firmamente sichtbar. Man hat sie Planeten, Wandelsterne, genannt, weil sie sich durch eigentümliche Bewegungen von den übrigen Sternen unterscheiden, die ihre gegenseitige Lage unveränderlich beibehalten, soweit im Laufe der Jahre ein aufmerksamer Beobachter des Himmels dies festzustellen vermag. Von diesen Fixsternen treten bei hereinbrechender Nacht immer größere Scharen aus dem dunkeln Grunde des Firmamentes hervor. So überwältigend ist für uns der Anblick des sternübersäten Himmels, daß es von alters her als ein unerfüllbares Verlangen galt, die Sterne zu zählen, während in Wirklichkeit doch nur wenige Tausend mit dem bloßen Auge erkennbar sind. Endlich, wenn der Mond, dem Tagesgestirne folgend, gleichfalls unter den Horizont getaucht ist, und wenn dann die allerletzten Tiefen des Himmelsdomes uns ihr Licht durch die stille Nacht herübersenden, schimmert der geheimnisvolle Gürtel der Milchstraße auf, der das Universum für uns umschließt.

Damit ist der alltägliche Anblick des Himmels bereits erschöpft: aus so wenigen Elementen ist die ergreifendste der Empfindungssymphonien zusammengesetzt, welche die große Natur je komponiert hat.

Nur selten wird dies allnächtliche Schauspiel unterbrochen von außergewöhnlichen Erscheinungen. Die schießenden Sterne, die gelegentlich durch die unerschütterlichen Konstellationen rasen, wurden von jeher als nicht in jene Sphären der unerreichbaren Sterne gehörend erachtet, und wenn auch die moderne Anschauung ihren Ursprung dorthin verlegt, so ist doch der Vorgang selbst, der so jäh unsere Gedanken an Ewigkeit und Unvergänglichkeit unterbricht, in unseren engen Dunstkreis zu verlegen, unter dem die Sekunde Millionen Wesen schafft und begräbt. Ebenso vorübergehend nur können unsere Empfindungen die Meteore stören, die zuweilen mit Donnergeräusch durch die Lüfte fahren und glühende Steine, Felsstücke auf die Erde niedersenden. Einen nachhaltigeren Mißklang bringt das Auftreten eines großen Schweifsternes hervor, der manchmal in wenigen Tagen bis zu einer Größe anzuschwellen vermag, welche die aller anderen Himmelskörper bei weitem übertrifft, und den durchsichtigen Schleier seines Schweifes über das halbe Himmelsgewölbe ausbreiten kann. Sein plötzliches Auftreten, sein unstetes, scheinbar regelloses Umherirren unter den ewigen Marksteinen des Himmels, sein ebenso geheimnisvolles Verschwinden nach so prunkvollem Erscheinen, alles das konnte wohl bei Unkenntnis über die Natur solcher ephemerer Himmelswesen die Menschheit aufschrecken.

Noch beängstigender wirkte es, wenn eines der beiden großen Gestirne sich plötzlich verfinsterte, obgleich diese Erscheinungen immer nur von kürzerer Dauer waren. Bei solchen Gelegenheiten erfuhr die Überzeugung von der Ewigkeit und Unantastbarkeit der Gestirne die tiefgehendste Erschütterung. Nehmen wir zu diesen vorübergehenden Ereignissen am Himmel noch das plötzliche Aufleuchten eines neuen Sternes, der das uralte Bild einer Konstellation durchbricht, eine der seltensten Erscheinungen am Himmelsgewölbe, so haben wir alle Arten von Erscheinungen zusammengefaßt, die das weite Universum unseren unverschärften Blicken in den Jahrtausenden zu bieten vermochte, seitdem das Menschengeschlecht seine forschenden Blicke zum Himmel richtet.

Auch die mächtigen Hilfswerkzeuge des Astronomen, die zwar eine unerschöpfliche Fülle von interessanten Einzelheiten an den Himmelskörpern unterscheiden ließen, konnten doch neue Erscheinungsarten kaum hinzufügen. Das Fernrohr und das Spektroskop bestätigten zunächst, daß der Mond und die Planeten eine Sonderstellung unter den übrigen Gestirnen einnehmen, da sie als an sich dunkle Körper erkannt wurden, die das von der Sonne erborgte Licht nur sehr unvollkommen zurückstrahlen. Außerdem lassen sie sich im Fernrohr vergrößern, was bei den Fixsternen nicht der Fall ist. Wir dürfen hieraus schließen, daß die Planeten uns bedeutend näher stehen als jene gleich der Sonne selbstleuchtenden Gestirne, die rings den Weltraum bis in so große Tiefen erfüllen, daß auch die mächtigsten Vergrößerungen ihre scheinbare Ausdehnung nicht über die eines einzigen Sehzapfens unserer Netzhaut zu steigern vermögen. Der Mond und die Planeten zeigen deshalb im Fernrohr mehr oder weniger Details, die dem näheren Studium unterliegen. Einige dieser Planeten sehen wir von Monden umgeben; Saturn zeigt seinen geheimnisvollen Ring.

Obwohl nun die Sonne uns offenbar viel näher steht als die Fixsterne und auch ihre Oberfläche eine große Anzahl von Einzelheiten aufweist, so lassen doch die übrigen Eigenschaften ihres Lichtes so viel Verwandtschaft mit den Fixsternen erkennen, daß wir

genötigt sind, das für uns allmächtige Tagesgestirn in dieselbe Kategorie mit jenen Millionen von Himmelslichtern zu ordnen, die das verschärfte Auge überall erblickt, wohin es sich auch am Firmamente wenden mag. Diese gemeinsamen Eigenschaften sind das eigene Licht der Sonne und der Fixsterne, ihr glühender Zustand und die Atmosphären glühender Gase, die nach dem Zeugnis des Spektroskops alle diese Körper umgeben. Innerhalb dieser Fixsternwelt begegnen wir aber der größten Mannigfaltigkeit. Hatte sich der nebelhafte Schleier der Milchstraße im Fernrohr in Millionen einzelner Sterne aufgelöst, so zeigen sich dafür Tausende anderer Nebel von verschiedenartigstem Aussehen, von denen einige im Spektroskop verraten, daß auch sie in einzelne Sterne zerfallen würden, wenn wir noch mächtigere Fernrohre auf sie richten könnten, als uns heute zur Verfügung stehen, denn sie zeigen dasselbe Absorptionsspektrum wie die einzeln stehenden Sterne; man nennt sie dann Sternhaufen, während andere Nebelflecke durch ihr nur aus einigen hellen Linien bestehendes Emissionsspektrum ihren grundverschiedenen Charakter als Ansammlungen glühender Gase ohne festen oder flüssigen Kern kundtun. Sehen wir uns in der Fixsternwelt mit dem Fernrohr noch weiter um, so bemerken wir, daß sich hier die Erscheinung der Begleiter, wie sie bei den Planeten als Monde auftraten, wiederholt; nur sind die Begleiter der Fixsterne wieder Fixsterne, selbst leuchtend: wir haben Doppelsterne vor uns. Endlich treffen wir dort sogenannte veränderliche Sterne an, die insofern keine neue Kategorie bilden, als sie je nach der verschiedenartigen Ursache ihres Lichtwechsels entweder mit den neuen Sternen verwandt sind oder dasselbe Phänomen wiederholen, das wir im Planetenreich als eine Sonnenfinsternis kennen.

Damit haben wir alle Klassen der uns bekannten Himmelskörper aufgezählt. Um nun noch zu entscheiden, in welcher Reihenfolge wir sie aufsuchen und näher studieren wollen, werden wir guttun, bei den uns nächsten Himmelskörpern, also dem Monde und den Planeten, zu beginnen, bei denen der erste schwierige Schritt von der festen Erde hinaus in den freien Raum verhältnismäßig am leichtesten sein muß. Diesen permanenten Himmelswesen mögen dann die ephemeren folgen, die Sternschnuppen, Meteore und Kometen, und letztere uns schließlich in die weite Fixsternwelt hinüberführen, nachdem wir vorher ihre für uns vornehmste Repräsentantin, die Sonne, eingehender betrachtet haben.

Wir müssen es, für diese Ordnung des Stoffes, bei den bloßen Wahrscheinlichkeiten bewenden lassen, die wir für die relativen Entfernungen der Gestirne angeführt haben. Erst im zweiten Hauptteile dieses Werkes, der sich mit den Bewegungen der Gestirne und den übrigen Aufgaben der messenden Astronomie beschäftigen soll, können die exakten Methoden behandelt werden, die zur Erkenntnis dieser Entfernungen führten.

A. Die Welt der Sonne.

1. Der Mond.

Den Mond betrachten wir noch ganz als den unsrigen. Sein stiller Glanz verklärt die irdischen Gefilde mit sanftem Dämmerscheine, der nach dem allzu grellen Lichte des Tages Auge und Seele empfänglicher für die zarteren, innigeren Empfindungen macht, die das nüchterne Sonnenlicht abstumpft. Und dem Monde können wir ins Angesicht sehen;

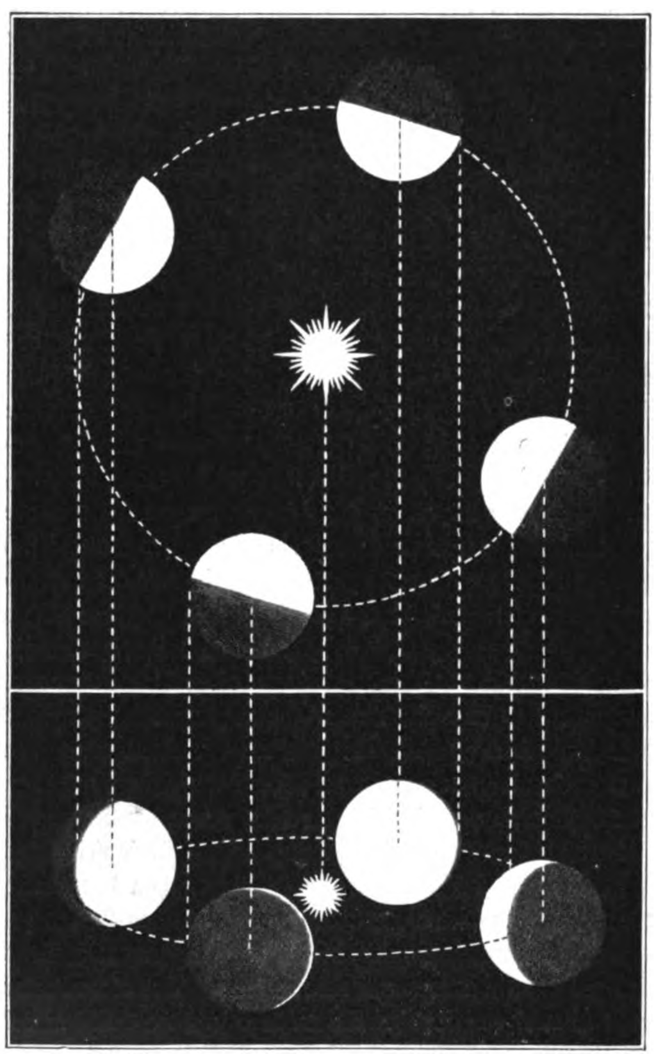
er lächelt freundlich milde zu uns herab wie ein stiller Vertrauter. Der Mond gehört in unser Erdenleben wie ein Teil von uns selbst.

Trotzdem ist die Überzeugung, daß der Mond ziemlich weit von uns entfernt sei und sich jedenfalls außerhalb unseres Luftkreises, außerhalb aller menschlichen Machtsphäre befinde, schon sehr früh allgemein verbreitet gewesen. In der Tat war dies unmittelbar vom Himmel abzulesen, indem man bemerkte, daß er immer nur hinter den Wolken, niemals vor ihnen steht. Es muß uns hier genügen, für wahr anzunehmen, daß dieses Gestirn durchschnittlich 385,000 km von uns entfernt ist; das ist der 9—10fache Längenbetrag des Erdumfanges. Es wird manchen Seemann geben, der in seinem Leben einen längeren Weg zurückgelegt hat; die großen Postdampfer legen zusammen auf unserer Erdoberfläche die Entfernung zwischen Erde und Mond vielemal in einem Jahre zurück. Der Mensch hätte sicher längst den Weg dort hinauf gefunden, wenn ihm nicht die mangelnde Luft in den höheren Regionen unserer Atmosphäre ein unüberwindliches Hindernis entgegenstellte.

Die erste, augenfälligste Wahrnehmung, die uns zu Schlüssen über die Natur des Mondes veranlassen kann, ist sein regelmäßiger Lichtwechsel. Nur verhältnismäßig kurze Zeit sehen wir ihn als volle Scheibe oder als Vollmond. Er steht dann immer der Sonne genau gegenüber, so daß er niemals mit ihr zugleich gesehen werden kann — mit einer gewissen Einschränkung, die durch die Strahlenbrechung in unserer Atmosphäre bedingt wird, und die es möglich macht, daß beide Gestirne gelegentlich zugleich ganz nahe am Horizonte sichtbar sind. Einige Tage nach Vollmond bemerken wir, daß eine Seite der Scheibe sich abgeflacht hat, daß hier die Begrenzung einem größeren Kreise entspricht als die der anderen; letztere ist stets der Sonne zugewandt. Wir bemerken gleichzeitig, daß der Mond inzwischen am Himmelsgewölbe weiter gewandert und dabei der Sonne näher gerückt ist. Er kann also nun mit der Sonne zugleich gesehen werden, und zwar in den Morgenstunden. Je näher er der Sonne kommt, desto mehr streckt sich die von ihr abgewandte Grenzlinie der Mondgestalt, bis sie eine gerade Linie wird zu derselben Zeit, wo der Mond genau um 90° im Kreisbogen von der Sonne entfernt ist, also etwa bei Sonnenaufgang im Süden steht. Dann ist letztes Viertel. Von nun an biegt sich die Lichtgrenze, der Terminator, mehr und mehr nach innen, bis nur noch eine schmale Sichel übrigbleibt, die endlich in den Strahlen der Sonne gänzlich verschwindet, da sich inzwischen der Mond ihr immer weiter genähert hat: es ist Neumond geworden. Nach einigen Tagen erscheint aber die Sichel wieder kurz nach Sonnenuntergang, diesmal auf der anderen Seite des Tagesgestirnes und umgekehrt gekrümmt, als zunehmender Mond. Der Terminator streckt sich von neuem, bis das erste Viertel eintritt; der Mond steht jetzt am höchsten bei Sonnenuntergang, und schließlich wächst er sich wieder bis zum Vollmond aus.

So wiederholt sich das Spiel der Mondphasen jedesmal im Laufe eines synodischen Monats, der von einer Wiederkehr des Mondes zur Sonne bis zur anderen 29 Tage 12 Stunden 44 Minuten 2,9 Sekunden lang ist: eine Zahl, die man wegen der religiösen, seit uralten Zeiten an den Mondwechsel sich knüpfenden Gebräuche schon vor Jahrtausenden mit möglichster Genauigkeit zu ermitteln versucht und in der Tat seit langer Zeit verhältnismäßig gut gekannt hat. Die Lage der Sichel zum Horizonte findet, so wie wir sie sehen, indes nur für die nördliche Erdhalbkugel statt. Unter dem Äquator erscheint das erste Viertel wie ein auf dem Horizonte schwimmendes Boot (s. Abbildung im zweiten Hauptteile), auf der südlichen Halbkugel liegt der voll beleuchtete Rand des ersten Viertels

rechts vom Terminator, der Mond erscheint also dann so wie bei uns das letzte Viertel, und entsprechend verändert sich auch die Lage für die andere Phase. Wir kommen auf die Erklärung dieser wechselnden Lagenverhältnisse im zweiten Hauptteile unseres Werkes zurück.



Entstehung des Phasenwechsels des Mondes.

Sehr seltsam ist es, daß trotz der lebhaften Beachtung, die der Mond stets gefunden hat, erst sehr spät, vermutlich zuerst von Leonardo da Vinci, bemerkt wurde, daß der Körper dieses Gestirnes bei seinem Lichtwechsel nicht gänzlich verschwindet, also nicht etwa, wie es in den Sagen der halbzivilisierten und Naturvölker fast allgemein angenommen wird, durch irgend etwas verzehrt wird, sondern daß namentlich um den Neumond herum die ganze übrige Scheibe in sehr mattem, aschgrauem Lichte neben der hell beleuchtenden schmalen Sichel sichtbar bleibt. (Es wird von diesem Phänomen später noch ausführlicher die Rede sein.) Hierdurch wird der ganze Vorgang des Phasenwechsels als Beleuchtungswechsel eines an sich dunkeln Körpers charakterisiert. Wir können alle betreffenden Erscheinungen in der natürlichen Reihenfolge hervorrufen, wenn wir eine weiße Kugel rings um uns herumführen, die von einer etwas entfernten Lichtquelle beleuchtet wird, wie es die obenstehende Abbildung veranschaulicht. Auch hier bleibt der nicht direkt beleuchtete Teil der Kugel wegen des im Zimmer verbreiteten diffusen Lichtes sichtbar. Beim Mond ist es der Widerschein der im Sonnenlichte glänzenden Erde, der bis zum Monde dringt und seinen verdunkelten Teil noch fahl beleuchtet. Wir müssen also den Mond, entgegen dem Augenscheine, der gerade ihn deutlicher als alle anderen Himmelskörper als flache, an das Firmament geheftete Scheibe darstellt, für eine freischwebende Kugel erklären, die, an sich dunkel, ihre Beleuchtung ebenso wie unsere Erde von der Sonne erhält.

Dies wird auch, wie schon erwähnt, durch das Spektroskop erhärtet, das gegen den Mond gerichtet genau dieselben Liniensysteme zeigt wie das von einem Stücke weißen Papieres zurückstrahlende Tageslicht. Scheiner in Potsdam photographierte das Mondspektrum und fand die etwa 300 darin auftretenden Linien in völliger Übereinstimmung mit den betreffenden Linien des Sonnenspektrums. Bei keinem anderen Himmelskörper ist diese Übereinstimmung so vollkommen; selbst bei den Planeten treten, wie wir später sehen werden, einige neue Linien auf, oder andere verbreitern sich, woraus man schließen muß, daß das Sonnenlicht, nachdem es von den Oberflächen jener Körper reflektiert wurde, noch absorbierende Gasschichten, nämlich ihre Atmosphären, durchläuft.

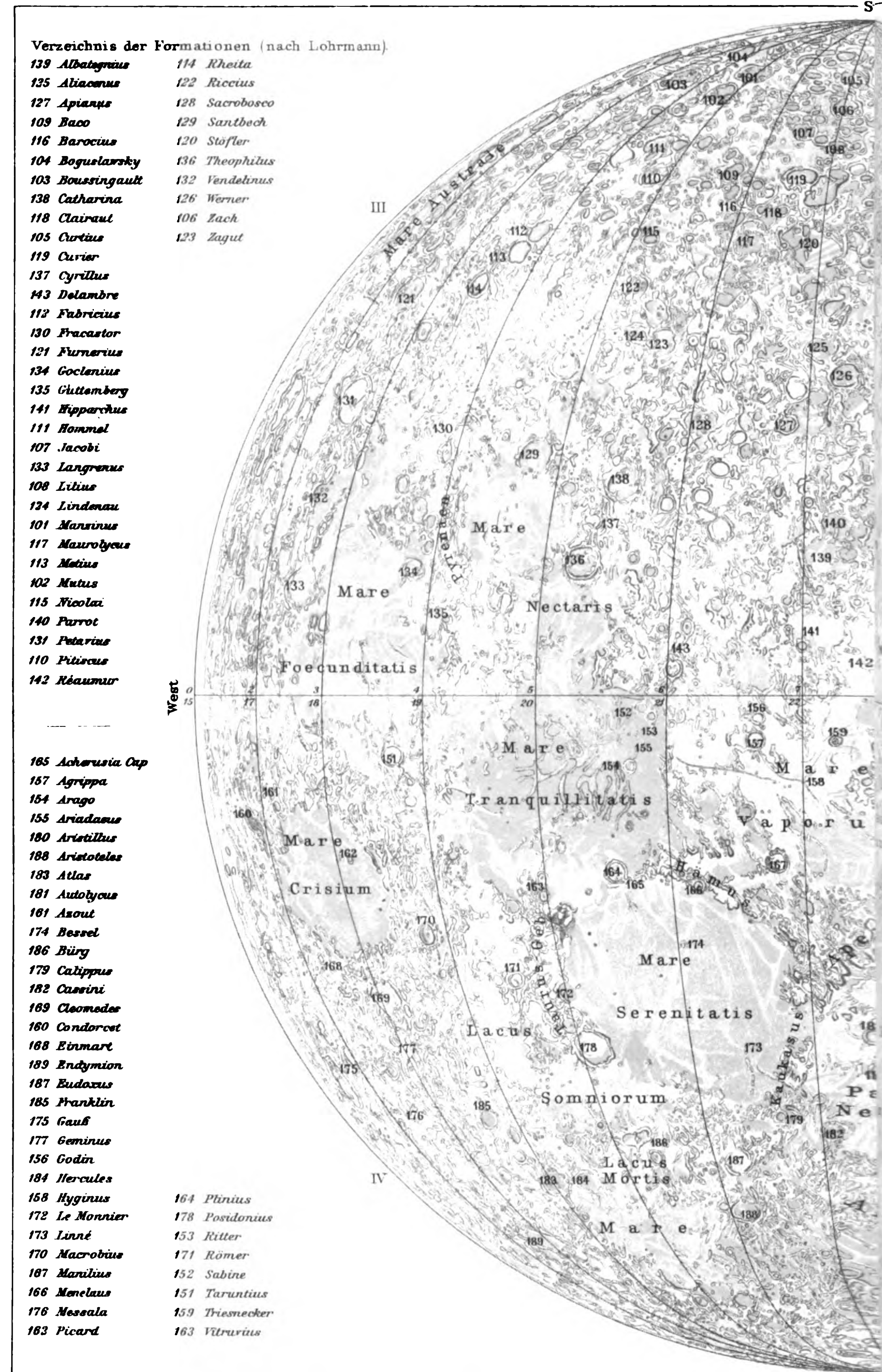
Das Spektroskop verrät uns also die bedeutungsvolle Tatsache, daß der Mond nicht wie die Erde von einer Dunsthülle umgeben ist. Der Einfluß unserer irdischen Atmosphäre muß selbstverständlich gebührend in Abzug gebracht werden. Dieser Luftmangel des Mondes war schon früher durch anderweitige Beobachtungen wahrscheinlich gemacht worden. Als einen ins Auge springenden Beweis dafür kann man sein auffällig scheibenförmiges Aussehen anführen, denn vom Rande des Mondes kommen gerade so viel Strahlen zu uns wie von seiner Mitte, was offenbar nicht geschehen könnte, wenn die Sonnenstrahlen erst wie auf der Erde Luftschichten zu durchdringen hätten. Durch den längeren Weg, den die Strahlen durchlaufen, wenn sie bei uns vom Horizonte kommen, gegenüber dem Wege vom Zenit zum Auge, wird das Licht wesentlich abgeschwächt. Die Helligkeit des Vollmondes müßte also gegen seinen Rand hin, für den die Sonne im Horizonte steht, merklich abnehmen und er deutlicher den Anblick einer Kugel gewähren, wenn irgend etwas vorhanden wäre, was seinen Körper lichtverschluckend umhüllt. Wir können das beweisende Experiment leicht an jeder Kugel machen, die wir mit einer absorbierenden Schicht, etwa mit einer Hülle aus dunkler Gaze, umgeben: die Kugel wird dadurch an den Rändern sofort viel dunkler abgeschattet erscheinen als vorher.

Einen anderen Beweis lieferte die uns schon bekannte Eigenschaft des Lichtes, von seinem geraden Weg abgelenkt zu werden, wenn es verschieden dichte Substanzen zu durchlaufen hat. Wir wissen, daß hierauf die Wirkungen des Fernrohres und des Spektroskopes beruhen. Das Licht muß bei Eintritt in die Atmosphären der Himmelskörper gebrochen werden, was wir auf der Erde sehr deutlich festzustellen vermögen: alle aus dem Himmelsraume zu uns gelangenden Lichtstrahlen machen in unserer Atmosphäre einen merklichen Bogen, so daß wir infolge dieser „atmosphärischen Refraktion" die Himmelslichter an einer ganz anderen Stelle des Firmamentes sehen, als es geschehen würde, wenn wir uns über diese Dunsthülle erheben könnten. Die Sonne geht deshalb für unser Auge etwa 2 Minuten früher auf und ebensoviel später unter, weil durch die Luft ihre Strahlen ein gutes Stück um die Erde herum gebogen werden, so daß die Sonne in Wirklichkeit schon untergegangen ist, wenn für uns ihr unterer Rand eben erst den Horizont berührt, also ihre ganze Scheibe noch sichtbar ist. Ähnliches müßten wir auch am Monde wahrnehmen. Dieser geht sehr häufig an Sternen vorüber, deren Licht, bevor es durch seinen Körper für uns verdeckt wird, am Rande des Mondes einen sehr langen Weg durch dessen Atmosphäre zu durchdringen hätte. Es müßte dadurch zunächst abgeschwächt werden; dann aber müßte auch sein Verschwinden hinter dem Monde verzögert, sein Wiedererscheinen beschleunigt werden, ganz so, wie es für unseren irdischen Horizont an der Sonne und allen Sternen beobachtet wird. Dies findet indessen, wie die sorgfältigsten und feinsten diesbezüglichen Messungen zeigen, nicht statt.

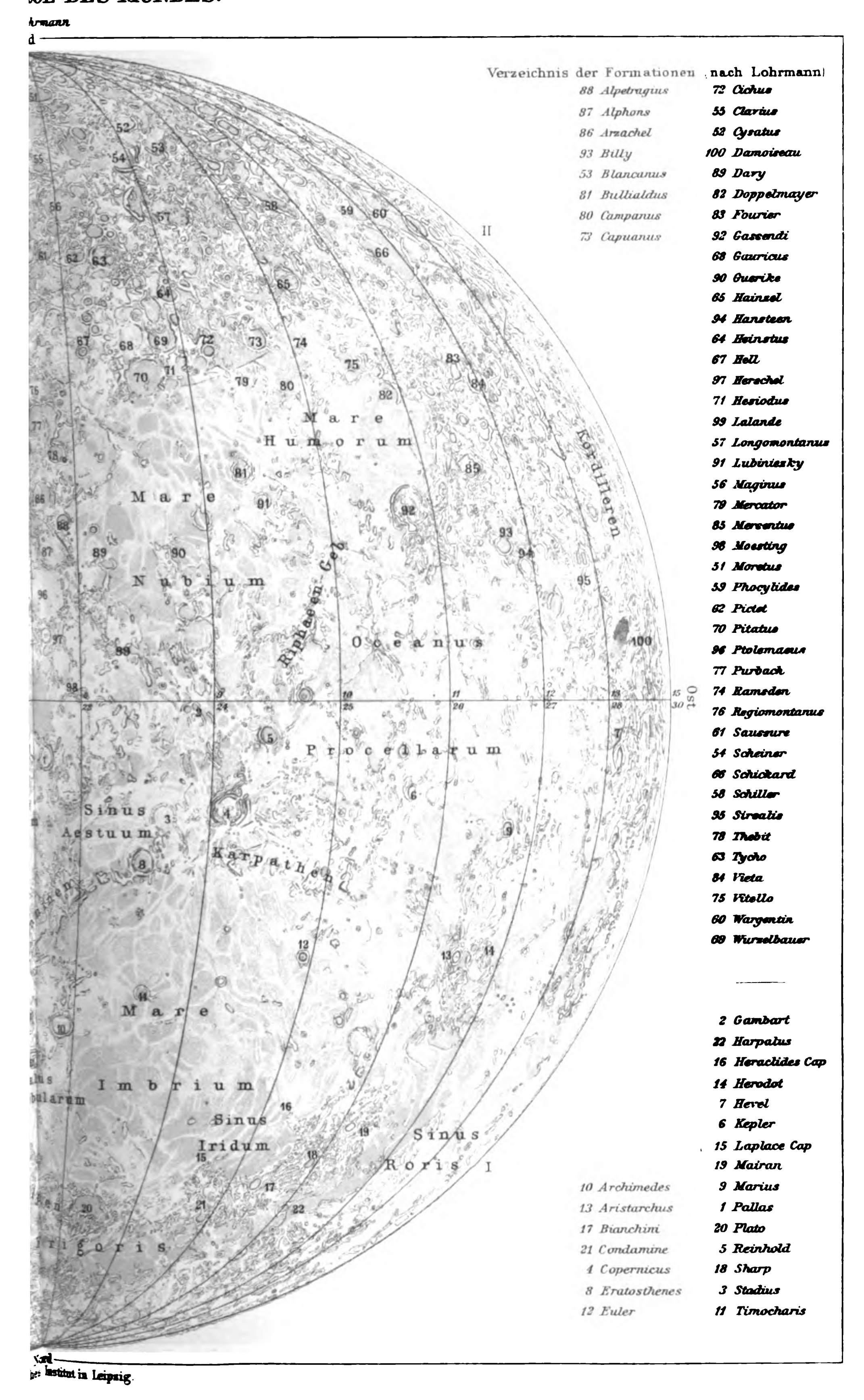
Durch alle diese Wahrnehmungen ist zwar keineswegs die gänzliche Abwesenheit von Luft oder einer anderen Gashülle auf dem Mond erwiesen, aber wir können behaupten, daß die vorhandenen Mengen so gering sein müssen, daß sie sich unserer Erkenntnis entziehen. Nach dem englischen Mondforscher Neison wäre eine Atmosphäre des Mondes, die den dreihundertsten Teil des bei uns herrschenden Luftdruckes ausübt, wohl möglich; eine dichtere Atmosphäre würde sich verraten. Eine direkte Beobachtung, die auf eine Strahlenbrechung am Mondrande schließen ließ, ist W. Pickering in der schon wiederholt erwähnten, auf dem peruanischen Hochplateau gelegenen Sternwarte von Arequipa gelungen, als der Mond am 12. August 1892 den Jupiter bedeckte. Die Scheibe des letzteren Planeten erschien dabei um etwa eine Bogensekunde eingedrückt, was nach dem genannten Astronomen einer Atmosphäre von $^1/_{4000}$ bis $^1/_{8000}$ der unsrigen entsprechen würde.

Wie erwähnt, wird das Licht vom Monde reflektiert wie von einem weißen Stück Papier. Dies ist jedoch nur in bezug auf die spektroskopische Wirkung der Fall. Die zurückkommende Lichtmenge ist bedeutend geringer, als wenn der Mond aus einer ganz weißen Masse bestünde. Vom Monde strahlt nach Zöllners sorgfältigen Messungen 619,000mal weniger Licht zu uns als von der Sonne, d. h. also so viel weniger lichtschwingende Äthermoleküle gelangen von ihm zu uns, als die Sonne auf eine gleiche Fläche der Erde herabsendet. Zöllner bestimmte ferner, daß eine dieser Lichtintensität (Albedo des Mondes genannt) entsprechende rückstrahlende Wirkung dann ausgeübt werden müsse, wenn die den Mond an seiner Oberfläche zusammensetzende Materie etwa die Farbe unseres Tonmergels besitzt.

Das Fernrohr, das die von uns bisher betrachteten Gesamtlichteindrücke in bezug auf die einzelnen Teile der Mondoberfläche zergliedert, zeigt uns nun auf den ersten Blick, wie eigentlich schon das bloße Auge, daß der Mond nicht aus gleichmäßig verteilter Materie besteht, sondern daß auf ihm in bunter Verteilung dunklere und hellere Partien abwechseln. Wir erkennen deutlich große, rundliche, dunklere Gebiete, die von helleren umrahmt werden. Jene hat man die Meere des Mondes genannt und wohl auch in der ersten Zeit nach ihrer Entdeckung, die durch Galilei im Jahre 1610 geschah, als er das Fernrohr überhaupt zum ersten Male zum Himmel richtete, für wirkliche wogende Meere gehalten, die von hellerem Gesteine des Küstengestades umgeben sind. Wenn man auch später diese Meinung aufgeben mußte, so hat man doch jene Bezeichnung beibehalten. Auf unserer beigehefteten Lohrmannschen Mondkarte sind diese Mare-Ebenen mit ihren Namen bezeichnet. Sie nehmen hauptsächlich die auf der Karte unten befindlichen Teile der Mondscheibe ein, das ist in Wirklichkeit die nach oben gekehrte, da wir alle Abbildungen in unserem Werke so wiedergeben, wie es dem Anblick im umkehrenden, astronomischen Fernrohr entspricht. Sinngemäß werden wir im folgenden die obere Partie aller Himmelskörper immer die südliche, die untere die nördliche nennen. Die nördliche Hälfte des Mondes ist also reicher an Meeren als die südliche, die in hellerem Glanze strahlt als jene. Das größte dieser dunkeln Gebiete ist das Mare Imbrium. Es besitzt eine Flächenausdehnung auf der Mondoberfläche, welche die von Österreich-Ungarn übertrifft. Angesichts solcher Dimensionen wird man den Vergleich mit unseren Meeren wohl begreiflich finden, namentlich wenn man noch weiter in Betracht zieht, daß die Gesamtoberfläche des Mondes etwa 13½mal kleiner ist als die der Erde, so daß für jenen Weltkörper die genannte Mare-Ebene im Verhältnis zu seiner ganzen Ausdehnung ebensoviel Raum einnimmt wie bei uns etwa das Mittelländische Meer.


KARTE DER GEBI
Nach L
Verzeichnis der Formationen (nach Lohrmann).
139 Albategnius
135 Aliacensis
127 Apianus
109 Baco
116 Barocius
104 Boguslawsky
103 Boussingault
138 Catharina
118 Clairaut
105 Curtius
119 Curier
137 Cyrillus
143 Delambre
112 Fabricius
130 Fracastor
121 Furnerius
134 Goclenius
135 Guttemberg
141 Hipparchus
111 Hommel
107 Jacobi
133 Langrenus
108 Lilius
124 Lindenau
101 Mansinus
117 Maurolycus
113 Metius
102 Mutus
115 Nicolai
140 Parrot
131 Petavius
110 Pitiscus
142 Réaumur
114 Rheita
122 Riccius
128 Sacrobosco
129 Santbech
120 Stöfler
136 Theophilus
132 Vendelinus
126 Werner
106 Zach
123 Zagut
165 Acherusia Cap
157 Agrippa
154 Arago
155 Ariadaeus
180 Aristillus
188 Aristoteles
183 Atlas
181 Autolycus
161 Azout
174 Bessel
186 Bürg
179 Calippus
182 Cassini
169 Cleomedes
160 Condorcet
168 Einmart
189 Endymion
187 Eudoxus
185 Franklin
175 Gauß
177 Geminus
156 Godin
184 Hercules
158 Hyginus
172 Le Monnier
173 Linné
170 Macrobius
167 Manilius
166 Menelaus
176 Messala
163 Picard
164 Plinius
178 Posidonius
153 Ritter
171 Römer
152 Sabine
151 Taruntius
159 Triesnecker
163 Vitruvius
III
IV
West
Mare Australe
Mare Nectaris
Mare Foecunditatis
Mare Tranquillitatis
Mare Crisium
Mare Serenitatis
Lacus Somniorum
Lacus Mortis
Bibliographische

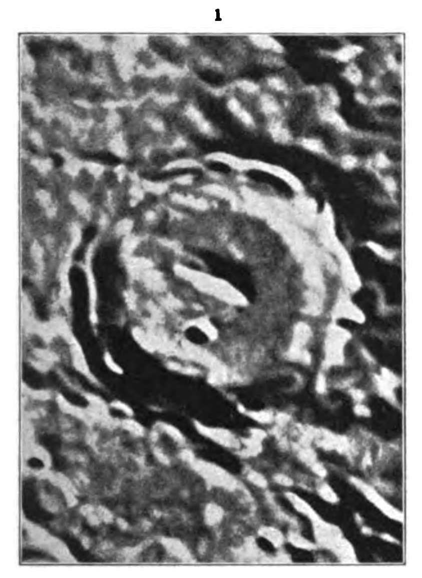
:GE DES MONDES.



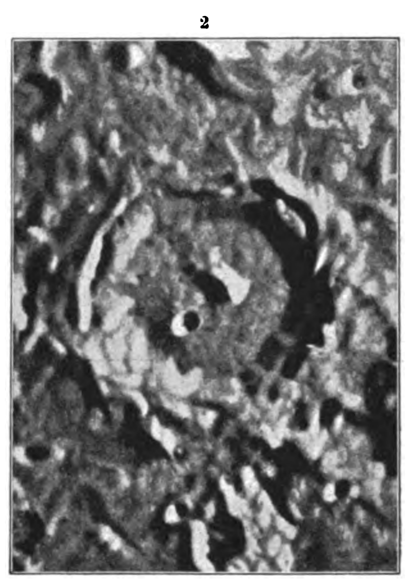
...stitut in Leipzig.

Daß man zur Ermittelung dieser Zahlen, die hier zur allgemeinen Veranschaulichung dienen sollen, nur die oben angegebene Entfernung des Mondes zu kennen braucht, ergibt sich aus der geometrischen Notwendigkeit, daß alle Gegenstände genau im selben Verhältnisse für unser Auge kleiner erscheinen müssen, wie wir uns von ihnen entfernen. Wir können also zunächst die scheinbare Größe des Mondes dadurch bestimmen, daß wir eine Scheibe von bekanntem Durchmesser gerade so weit von unserem Auge entfernen, daß sie den Mond genau bedeckt. Sovielmal größer, als dann die Entfernung des Mondes von uns ist als die der Scheibe, um ebensovielmal muß auch der Mond diese Scheibe an wirklicher Größe übertreffen. Prinzipiell auf keine andere Weise, wenn auch in der Ausführung

1



2



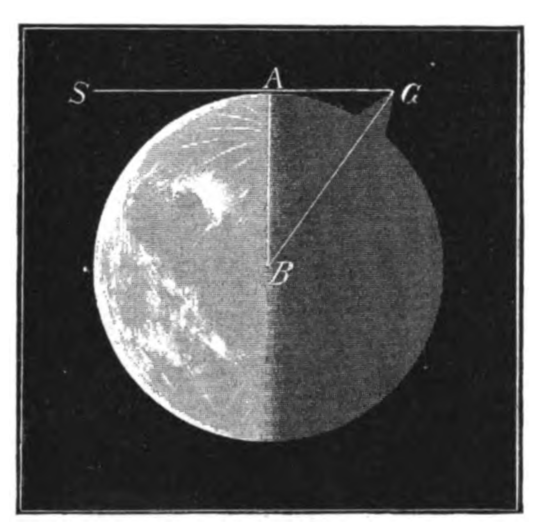
Der Mondkrater Arzachel: 1) am 15. August 1888, 2) am 27. August 1888. Nach Tuschierungen in 10facher Vergrößerung der Originalnegative der Lick-Sternwarte, von L. Weinek in Prag. Vgl. Text, S. 72.

verfeinert, hat man ermitteln können, daß der Mond im Durchmesser etwa 3500 km hält, also etwas mehr als ein Viertel von dem der Erde.

Die helleren und dunkleren Gebiete der Mondoberfläche sind unveränderlich in ihrer gegenseitigen Lage; es sind konstante Oberflächengebilde. Aber auch ihre Gesamtheit verändert ihre Lage zum Rande der scheinbaren Mondscheibe nur sehr wenig: der Mond kehrt uns ja beständig dieselbe Seite zu, so daß wir nur ungefähr die Hälfte seiner ganzen Kugeloberfläche zu sehen bekommen und von der anderen Seite, die er beständig von uns ab- und dem Weltraume zukehrt, niemals etwas gesehen haben. Ganz genau behält allerdings der Mond seine Lage zur Verbindungslinie mit der Erde nicht inne, sondern er schwankt ein wenig um die Mittellage hin und her. Man nennt dieses Schwanken die Libration. Durch sie werden nach und nach etwa $^4/_7$ der gesamten Mondoberfläche für uns sichtbar.

Neben jenen unveränderlichen Schattierungen der Mare-Ebenen treten aber auf dem Monde noch andere auf, die sich mit seinen Phasen verändern und bei Vollmond gänzlich verschwinden. Schon der erste Anblick dieser Gebilde läßt vermuten, daß es sich hier um

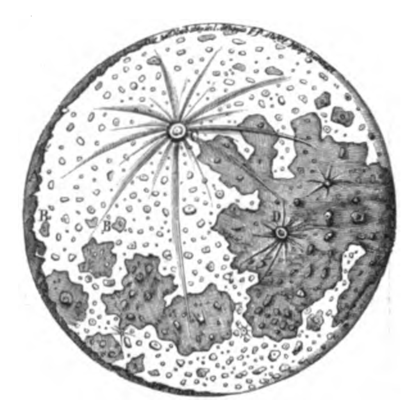
Schatten handelt, die von Unebenheiten der Mondoberfläche geworfen werden. Zur Gewißheit wird diese Vermutung, wenn man die Veränderungen dieser Schatten durch alle verschiedenen Mondalter, womit man den Zeitabstand einer Phase vom Neumond bezeichnet, verfolgt. Zur Veranschaulichung haben wir auf Seite 71 dieselbe Mondgegend in verschiedenen Altern wiedergegeben. Wir sehen daraus, wie wesentlich sich der Anblick durch die verschiedene Beleuchtung verändert, und erkennen aus kleinen Gestaltsänderungen den Einfluß der Libration. Die eine Regel aber bleibt bestehen, daß die Schatten immer gegen denjenigen Rand hinfallen, der durch die Phase verändert wird, gegen die Terminatorlinie, niemals gegen den anderen Rand, der, weil der Sonne zugekehrt, während des Phasenwechsels kreisrund bleibt. Die Richtung der Schatten ist selbstverständlich unter der Voraussetzung, daß die Sonne diese Schatten hervorbringt. Sind sie wirklich durch feststehende Erhöhungen der Mondoberfläche hervorgebracht, so müssen sie sich, wie die Bergschatten auf der Erde, vom Morgen bis zum Mittag beständig verkürzen und dann bis zum Abend wieder verlängern, was wir in der Tat wahrnehmen. Wenn wir nun aus der beobachteten Schattenlänge die Höhe des Berges berechnen, so muß diese natürlich trotz der sehr verschiedenen Längen zu den verschiedenen Tageszeiten immer denselben Wert ergeben, was gleichfalls zutrifft.



Die Bestimmung der Höhe der Mondberge.

Solche Höhenmessungen auf dem Monde können von unserem irdischen Standpunkt aus mit großer Sicherheit ausgeführt werden, und zwar in vielen Fällen ohne alle Voraussetzungen über die Beziehungen und Entfernungen zwischen Sonne, Erde und Mond, wenigstens solange man die Höhe der Mondberge nur in Teilen des Monddurchmessers zu wissen wünscht. In einem Fall ist dies ohne weiteres möglich, wenn nämlich die Erhöhung sich am vollbeleuchteten Rande des Mondes befindet, wo wir solche Höhen im Fernrohre sehr häufig sehen. Dann brauchen wir nur mit irgend einem Maßstabe, z. B. in Millimetern, auf einer Photographie diese Erhöhung und gleichfalls den ganzen Durchmesser des Mondbildes auszumessen und beide Zahlen durcheinander zu dividieren. Aber auch noch in einem anderen Falle, den schon Galilei zur Höhenmessung der Mondberge anwandte, ist diese Ermittelung sehr leicht, wenn nämlich um die Zeit des ersten oder letzten Viertels jenseits des Terminators helle Punkte auftreten, wie solche z. B. in der Mondgegend bemerkbar sind, die auf der bei Seite 78 stehenden Tafel abgebildet ist. Diese Lichtpunkte sind offenbar Berggipfel, die eben noch von den Sonnenstrahlen berührt werden, sei es nun, daß hier gerade Sonnenaufgang oder -Untergang stattfindet. Mißt man nun den Abstand dieses Lichtpunktes von der Lichtgrenze, wie sie in den umliegenden Ebenen auftritt, so hat man dadurch, wie aus der obenstehenden Abbildung unmittelbar zu ersehen ist, die eine Seite eines rechtwinkeligen Dreiecks bestimmt, dessen zweite Seite der wieder aus dem Mondbild in

demselben Maße direkt zu entnehmende Mondhalbmesser ist, während die dritte gleich diesem selben Halbmesser plus der gesuchten Höhe des Berges sein muß. Nach dem pythagoreischen Lehrsatze haben wir dann $(r+h)^2 = r^2+a^2$, wo r den Halbmesser des Mondes (AB unserer Zeichnung), h die gesuchte Höhe des Berges und a den Abstand AG bedeutet. Setzen wir also den Fall, wir hätten auf einer Mondphotographie, die einen Halbmesser von 100 mm besitzt, gefunden, daß das helle Pünktchen einer Bergspitze 10 mm von der Lichtgrenze entfernt ist, also um eine sehr deutlich wahrnehmbare und meßbare Größe, so finden wir aus unserer Formel, daß der Berg ½ mm groß erscheinen würde, wenn er sich am Rande der Photographie befände. Das macht gerade den vierhundertsten Teil des ganzen Monddurchmessers aus. Unter Anwendung der oben angegebenen Kilometerzahl für den Durchmesser ergibt sich dann, daß der beobachtete Berg etwa 8750 m hoch ist. Durch astronomische Messungen ist man auf diese Weise imstande, die Höhe eines Mondberges oft bis auf etwa 10 m genau zu bestimmen, also nahezu ebenso sicher, wie wir die Berghöhen auf unserer Erde ermittelt haben, während viele der Erdgebirge, die schwer zugänglich sind oder in wenig erforschten Ländern liegen, bei weitem nicht so genau gemessen werden konnten.



Fontanas Karte des Mondes aus dem Jahre 1630. Aus Fontana: „Novae coelestium terrestriumque rerum observationes", Neapel 1646. Vgl. Text, S. 74.

Natürlich ist die beschriebene Messungsmethode nicht die einzige; wir können auf dem Mond ebenso, wie wir es gelegentlich bei uns tun, aus der Länge eines Bergschattens zu jeder Zeit, also nicht nur wenn die Sonne gerade für die betreffende Gegend auf- oder untergeht, die Höhe bestimmen, wenn wir zur Zeit der Messung die Erhebung der Sonne über den Horizont kennen. Die Bestimmung dieses Winkels für einen beliebigen Ort auf dem Monde oder irgend einem anderen Mitglied unseres Planetensystemes bereitet aber nicht mehr Schwierigkeiten als die gleiche Rechnung für unsere Erde.

Ein großer Übelstand bleibt dagegen für die Bergmessungen auf dem Monde stets bestehen, der auf der Erde nicht auftritt, nämlich der Mangel einer allgemeinen Niveauebene, auf die man die Messungen beziehen kann. Auf der Erde geben wir die Berghöhen über dem Meeresspiegel an; für den Mond müssen wir uns damit begnügen, die Erhebung über einen Punkt der Umgebung zu bestimmen, und zwar immer von da aus, wohin das Ende des zur Messung verwendeten Schattens um die gegebene Zeit gerade fällt. Für die Vergleichung der Mondberge mit den irdischen ist dieser Umstand wohl zu berücksichtigen, denn wir würden natürlich ganz andere Berghöhen erhalten, wenn wir etwa den Montblanc von der Ebene von Chamonix aus oder den Pic von Tenerife vom Grunde des Meeres aus messen würden, auf dem sein Fuß steht.

Es hat sich gezeigt, daß merkwürdigerweise der höchste Mondberg fast genau so hoch ist wie die größte irdische Erhebung, etwa 8850 m. Für die Erde bedeutet diese Größe den 720. Teil ihres Halbmessers, für den Mond dagegen den 200. Teil. In bezug auf die Ausdehnung des Weltkörpers, auf dem sie liegen, sind also die Mondberge viel höher als die der Erde.

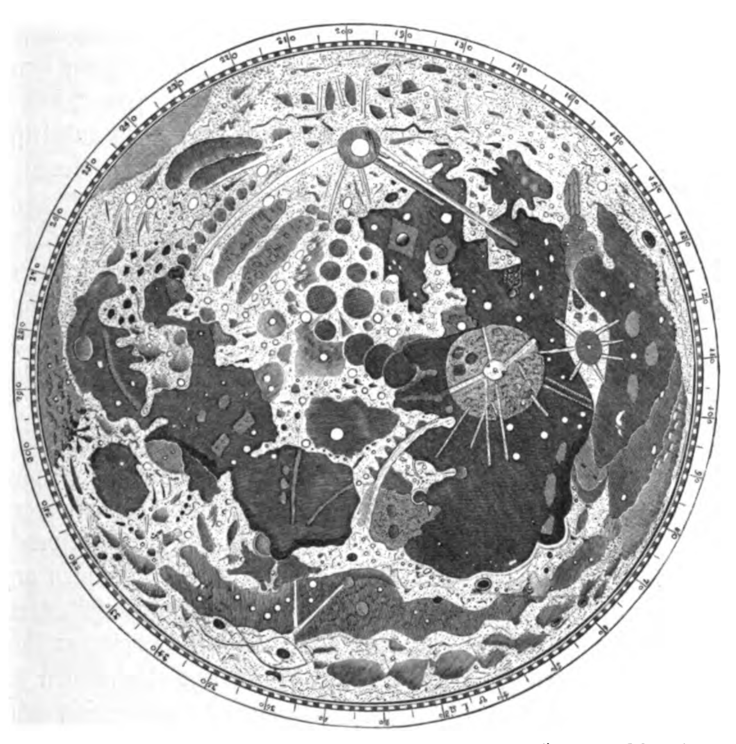
Sehr bald nach der Entdeckung des Fernrohres hat man mit der Zeichnung einer topographischen Karte des Mondes begonnen, um weitere Vergleichungen jener Welt mit der unsrigen anstellen zu können. Die erste vollständige Mondkarte ist von dem Danziger Ratsherrn Hevelius im Jahre 1647 herausgegeben worden, wenn man von der auf Seite 73 wiedergegebenen Zeichnung Fontanas absieht, die 1630 entstanden ist, aber wohl von



Hevels Mondkarte aus dem Jahre 1645. Aus Hevels „Selenographia", Danzig 1647.

vornherein nicht den Anspruch einer topographischen Karte des Mondes erheben wollte. Die Hevelsche „Selenographie" war für ihre Zeit eine epochemachende Erscheinung und im vollsten Sinn ein wissenschaftliches Kunstwerk. Die darin enthaltenen Kupfertafeln sind von dem außerordentlich geschickten Autor selbst gestochen und geben den Anblick des Mondes an jedem Tage seines Alters wieder, woraus dann ein ideales Bild des Vollmondes zusammengesetzt ist. Die Zeichnungen oben und auf Seite 75 sind Kopien dieser Darstellungen. Wir finden darauf Benennungen von Meerebenen und Gebirgen, die zum Teil auch heute noch für dieselben Objekte gültig sind, obgleich wir heute wissen, daß jene „Mare" genannten Gebilde in Wirklichkeit keine Meere sind.

Mit der Vervollkommnung des Fernrohres mußte natürlich auch die der Mondkarten parallel gehen. Im 17. und 18. Jahrhundert fertigten Cassini und Lahire in Paris, Tobias Mayer in Göttingen und Schröter in Lilienthal immer vollständigere Mondkarten an, im neunzehnten Beer und Mädler in Berlin, Lohrmann in Dresden (eine verkleinerte Nachbildung der Lohrmannschen Karte siehe bei S. 70), die Engländer Nasmyth und Neison und ganz besonders Julius Schmidt in Athen. Letzterer stellte in nahezu vierzigjähriger unermüdlicher Arbeit die größte aller bis jetzt existierenden, durch Zeichnung am Fernrohr hergestellten Mondkarten her, die nicht weniger als 2 m im Durchmesser hält und so viel Oberflächendetail aufweist, wie kaum die besten Atlanten von unserer Erde verzeichnen. Diese monumentale „Charte der Gebirge des Mondes" ist 1878 auf Kosten des preußischen Unterrichtsministeriums herausgegeben worden.



Anblick des Vollmondes nach Hevel. Aus Hevels „Selenographia", 1647. Vgl. Text, S. 74.

Inzwischen begann die Photographie, die gerade beim Monde ganz besondere Schwierigkeiten zu überwinden hatte, dennoch mit den Zeichnern zu wetteifern. Nachdem schon im Jahre 1840 Draper das erste photographische Bild des Mondes fixiert hatte, folgten ihm bald viele andere nach, unter denen namentlich zu nennen sind: die Amerikaner Bond und Rutherford, dann in neuerer Zeit Prinz in Brüssel, Pickering in Cambridge (Nordamerika) und ganz besonders die Astronomen der Lick-Sternwarte, die Gebrüder Henry in Paris, sowie Loewy und Puiseux ebenda. Die nach den Originalaufnahmen der letzteren, von denen die Tafel bei S. 45 zwei wiedergibt, hergestellten Vergrößerungen entsprechen einem Monddurchmesser von 2,5 m. Pickering hat in neuester Zeit einen Mondatlas mit 80 Blättern herausgegeben, die mit einem eigens dazu hergestellten Fernrohr von 41,25 m Brennweite, aber nur 12 Zoll (30 cm) Öffnung aufgenommen wurden. In dieses bei weitem größte aller existierenden Fernrohre, das auch ein entsprechend großes Bild des Mondes entwirft, wird das Mondlicht durch einen beweglichen Spiegel geleitet, so daß es selbst horizontal unbeweglich liegen bleibt.

Es bildete sich nunmehr ein eigentümlicher Kompromiß zwischen dem Zeichner und dem Photographen heraus. Der Prager Mondforscher Weinek, der sich schon vordem

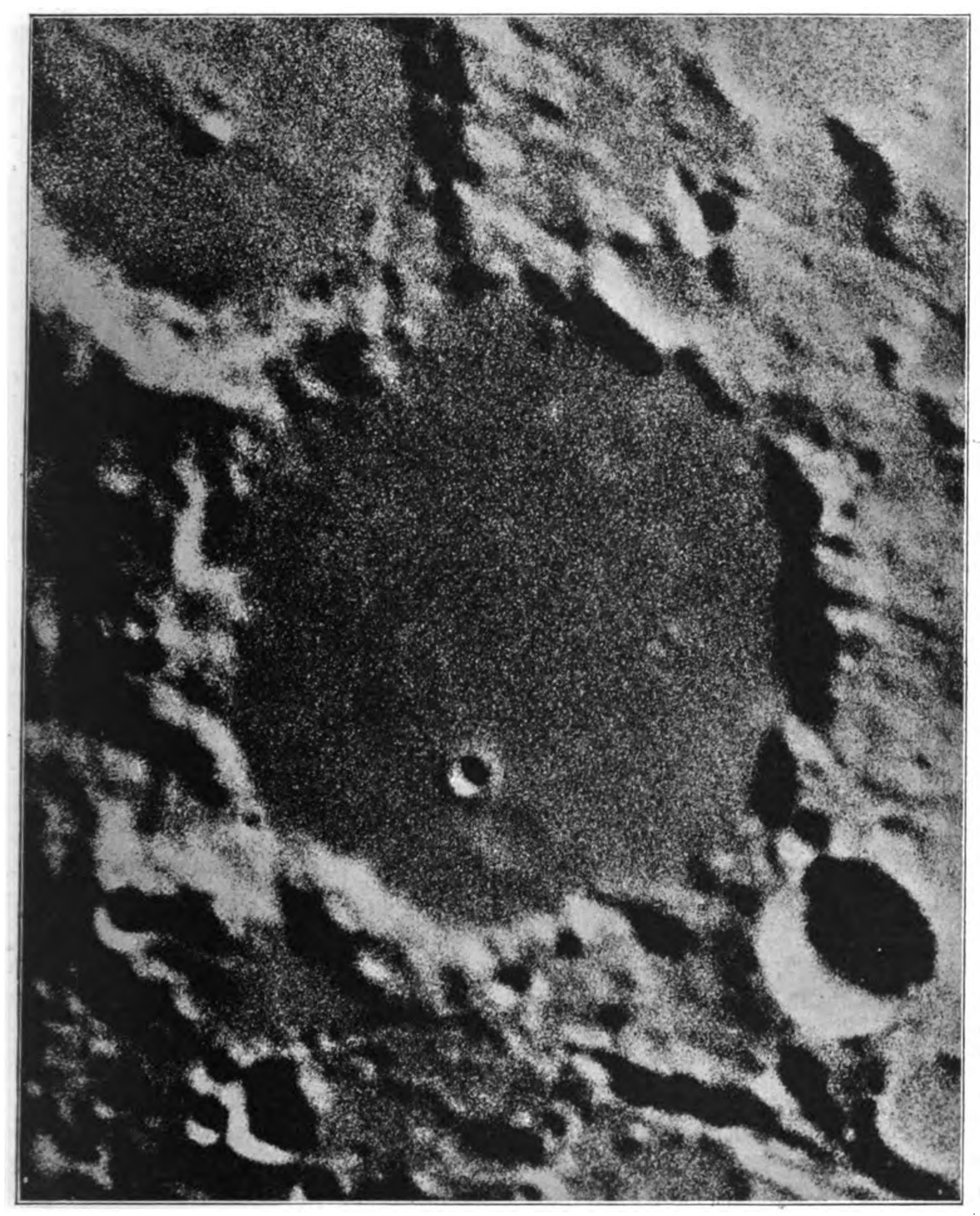
durch außerordentlich sorgfältige und künstlerisch schöne Darstellungen einzelner Mondgegenden hervorgetan hatte, begann die auf der Lick-Sternwarte hergestellten Mondphotographien vergrößert zu zeichnen, wodurch er überraschend schöne und wertvolle Resultate erhielt. Man konnte hierbei jedoch trotz der größten Vorsicht nicht über die Schwierigkeit hinwegkommen, die durch die individuelle Auffassung des Zeichners für die Deutung der feinsten Einzelheiten übrigbleibt.

Bei genauerer Prüfung hat sich allerdings gezeigt, daß jene Photographien, wie sehr sie auch bei oberflächlichem Vergleich das Auge bestechen, doch immer noch bei weitem nicht so viel Details aufweisen, wie die direkte Beobachtung selbst in mittelgroßen Fernrohren uns verrät. Im allgemeinen kann man annehmen, daß die besten Photographien höchstens so viel zeigen, wie das Auge in einem Fernrohr von 4 Zoll Öffnung erkennt. Eine von Prinz vorgenommene Vergleichung ergab ferner, daß die Fortschritte der Mondphotographie, was die Definition der feinsten Details anbetrifft, gar nicht so groß sind, wie man bisher zu glauben geneigt war. Die kleinsten Gegenstände auf der Rutherfordschen Photographie haben auf dem Monde etwa 3000 m Ausdehnung auf der Fläche, die der neuesten Pariser Photographien, welche die der Lick-Sternwarte noch um einiges übertreffen, 2250 m. Die feinsten Gegenstände aber, die man mit etwa 500facher Vergrößerung (die allerdings nur selten angewendet werden kann) auf dem Monde noch direkt im Fernrohr gelegentlich wahrnehmen kann, haben keinen größeren Durchmesser als 100 m, und wenn man sie durch ihre langen Schatten bei auf- oder untergehender Sonne über der betreffenden Mondgegend unterscheidet, können sie sogar auf 20 m herabgehen.

Der Grund, weshalb man in dieser Richtung nicht erheblich weiter gekommen ist, liegt in dem groben Korn unserer sehr empfindlichen photographischen Platten. Dieses Korn mißt etwa 0,1 mm und würde auf den heutigen Mondphotographien einer Ausdehnung des betreffenden topographischen Details von 200 m entsprechen, was allerdings noch erheblich weniger ist, als die wirklich auf den Photogrammen erzielte Definition, die kaum zehnmal größere Gegenstände zeigt. Diese erhebliche Verschlechterung rührt von der Unruhe des Bildes infolge der bewegten Luft, der Unsicherheit der Nachführung des Fernrohres und den anderen Fehlerquellen her, die in dem allgemeinen Kapitel über Photographie besprochen worden sind. Wegen des störenden Kornes erreicht man auch durch Vergrößerung auf photographischem Wege für die Definition in dieser Hinsicht nicht viel, abgesehen von der ungeheuren Zeitersparnis. Es liegt also sehr viel daran, das Originalbild im Fokus des Fernrohres von vornherein möglichst groß zu erhalten, so daß das Pickeringsche Fernrohr in dieser Beziehung einen Fortschritt bedeutet. Das Fokusbild des Mondes darin hat einen Durchmesser von etwa 35 cm, gegen 13,5 cm, die der Lick-Refraktor, und 18 cm, die das „Ellbogenfernrohr" in Paris erzielt.

In einer anderen Weise als Weinek hat sich nun in den letzten Jahren der eifrige Mondforscher Krieger in Triest der unbedingt getreuen Photographie bedient, um eine Mondkarte von beinahe noch einmal so großem Durchmesser als die Schmidtsche herzustellen, indem er die entsprechend vergrößerten Aufnahmen nur als Grundlage benutzt, um in sie am Fernrohr alle diejenigen Einzelheiten einzuzeichnen, welche die photographische Platte nicht mehr erreichen konnte. Solche Riesenarbeit, den Mond im Maßstabe von 1 zu 1,000,000 herzustellen, würde ohne diese Hilfeleistung der Photographie die Kräfte eines Menschenalters weit übersteigen.

An der Hand des reichen Materials an Aufzeichnungen, die teils von Menschenhand, teils direkt mit Hilfe der Photographie gemacht wurden, suchen wir nun die Welt des Mondes



Die Wallebene Ptolemäus. Nach einer Aufnahme der Lick-Sternwarte vom 10. November 1892, 16fach vergrößert von L. Weinek in Prag. Vgl. Text, S. 78.

kennen zu lernen. Auch dem oberflächlichsten Blicke fällt sofort die wesentliche Verschiedenheit des Gebirgscharakters unseres Trabanten gegenüber dem uns von der Erde her gewohnten auf. Die ganze sichtbare Hälfte des Mondes ist übersät von eigentümlichen runden

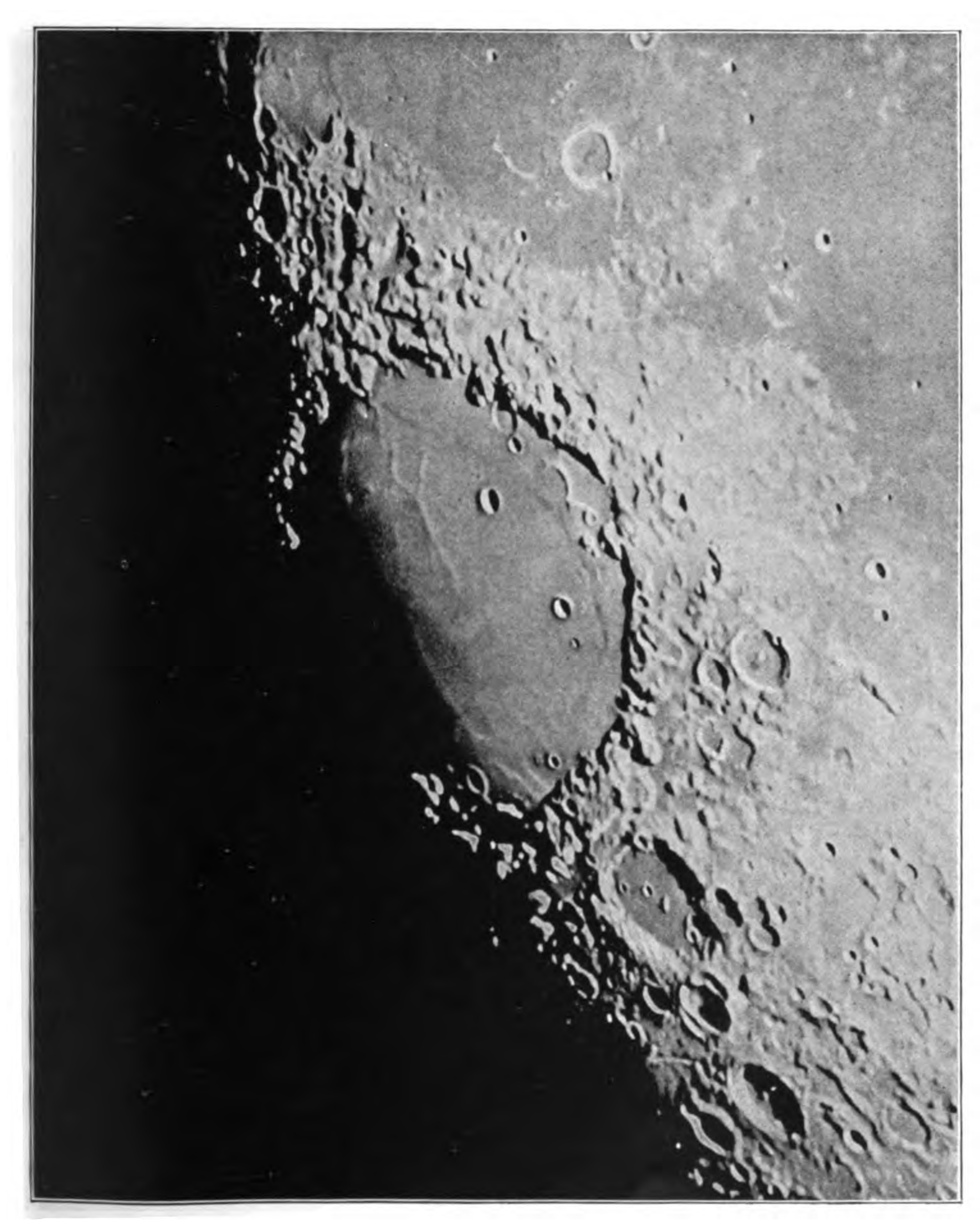
Gebilden, die nur infolge der Kugelgestalt des Mondes sich desto mehr elliptisch projizieren, je näher sie an dem Rande der scheinbaren Scheibe stehen. Man findet sie dort in allen erdenklichen Dimensionen, von ganzen Meerebenen an, wie die des Mare Crisium (s. die beigeheftete Tafel), bis zu den allerwinzigsten Löchern in der Oberfläche, die nur mit den feinsten Hilfsmitteln entdeckt werden können und höchstens 200 m im Durchmesser halten mögen. Man hat alle diese runden Gebilde zuerst mit dem Namen von Mondkratern belegt, aber man mußte später einsehen, daß die größeren, Wallebenen, bezw. Ringgebirge genannt, so wesentlich verschieden von allen auf der Erde auftretenden Gebirgsformen sind, daß man eine ganz neue Kategorie für sie zu schaffen hatte.

Diese Kategorien, in die wir das am Himmel Wahrgenommene zu bringen haben, werden wir naturgemäß, soweit es möglich ist, nach irdischen Analogien aufstellen. Dabei muß jedoch gleich hier zu Anfang des beschreibenden Teiles nachdrücklich betont werden, daß damit über die Natur oder den Ursprung der betreffenden Gebilde nichts im voraus angenommen sein soll. Wir verhalten uns zunächst rein beschreibend, um über die Natur, den Ursprung und den Zusammenhang der gesehenen Dinge uns erst dann ein Urteil zu bilden, wenn uns genügende Daten aus allen Teilen unseres weiten Forschungsgebietes vorliegen, die auf unsere Anschauungen über den besonderen Gegenstand Einfluß gewinnen können. Wir dürfen deshalb auch, wenn wir in die Natur eines Himmelskörpers eindringen wollen, diesen nicht als selbständiges Wesen betrachten, denn namentlich in den Himmelsräumen ist kein Ding ohne Zusammenhang mit seiner Umgebung, und ohne diese Umgebung ist sein Wesen nicht verständlich.

Eine andere jener Wallebenen, Ptolemäus genannt, ist in der Abbildung auf Seite 77 dargestellt. Sie liegt auf dem Mond ungefähr in der Linie, die beim ersten und letzten Viertel gerade von den Sonnenstrahlen gestreift wird. Auf unserer zu Seite 70 gehefteten Mondkarte sind die Grenzen, bis zu denen in den verschiedenen Mondaltern die Beleuchtung vorschreitet, angegeben und die zugehörigen Alter am Äquator beigeschrieben. Am zweiten Tage nach Neumond ist z. B. nur das Stück des Mondes beleuchtet, das zwischen den mit 0 und mit 2 bezeichneten Kurven liegt; am 17. Tage des Mondalters dagegen, also zwei Tage nach dem Vollmond, ist dieses selbe Stück allein unbeleuchtet. Wegen der Libration können diese Grenzlinien übrigens etwas verschoben werden. Die Wallebene Ptolemäus befindet sich zwischen den Grenzlinien des 7. und 8., bezw. des 22. und 23. Tages; sie beginnt also am 7. oder 8. Tage nach Neumond sichtbar zu werden und bleibt es dann bis zum 22. oder 23. Tage. Sie ist im zweiten (südöstlichen) Quadranten mit 96 bezeichnet.[1] Die Mondkarte mißt genau 212 mm, so daß auf ihr nach Maßgabe des oben angeführten Durchmessers des Mondes 1 mm rund 16½ km entsprechen. Ptolemäus ist nun auf unserer Karte etwa 9 mm breit, also ist er in Wirklichkeit rund 150 (genauer 137) km breit; das ganze Königreich Sachsen hätte bequem in dieser ringwallumzäunten Ebene Platz. Man ersieht hieraus, daß diese Wallebenen in ihrer äußeren Erscheinung mit unseren Vulkanen nichts als die runde Form gemein haben. Das

[1] Zur Erleichterung der Aufsuchung der verschiedenen Gegenstände auf unserer Mondkarte ist folgendes zu beachten: Der Mond ist in vier Quadranten eingeteilt. Alle mit Zahlen von 1—50 bezeichneten Objekte befinden sich im nordöstlichen Quadranten, von 51—100 im südöstlichen, von 101—150 im südwestlichen und endlich die mit 151—200 bezeichneten im nordwestlichen. Die Namen am Rande der Karte sind für jeden Quadranten besonders alphabetisch geordnet.





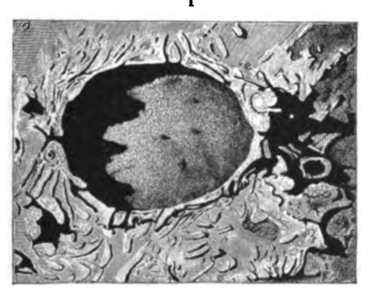
Das Mare Crisium auf dem Monde.

Nach einer auf der Lick-Sternwarte hergestellten photographischen Aufnahme.

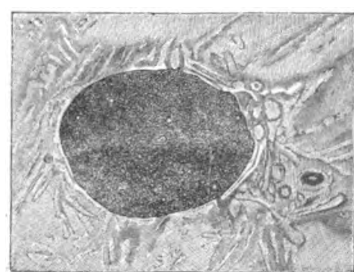
Größenverhältnis zwischen der Höhe des Ringwalles und dem Durchmesser des eingeschlossenen Plateaus ist ein ganz anderes, als wir es auf der Erde selbst in jenen Fällen wahrnehmen, in denen, wie z. B. bei der Solfatara in Pozzuoli bei Neapel, die ursprüngliche Krateröffnung von einer ebenen Decke angeschwemmten Materials ganz verschüttet worden ist. Man müßte sich denn einen Vulkan vorstellen, der etwa den Umfang von Böhmen besäße und doch nur solche Umwallungsmauern hätte, wie sie jenes Land umschließen.

Ferner ist es bezeichnend für diese großen Wallebenen des Mondes, daß sie im Inneren meist keinerlei Oberflächengestaltung aufweisen, also, soweit wir sehen können, vollkommene Plateaus sind, die höchstens von einigen Poren, Löchern, unterbrochen werden, welche die Oberfläche des Mondes überall wie Pockennarben überziehen; von ihnen wird später noch die Rede sein. Diese Löcher, wie man deren eines in der auf Seite 77 abgebildeten Wallebene Ptolemäus erblickt, stehen offenbar in keinerlei direktem Zusammenhange mit der Bildung des Ringwalles, wenn man irdische Vergleichspunkte dabei ins Auge faßt. Sie können z. B. nicht mit den Auswurfskegeln verwechselt werden, die stets eine zentrale Stellung zu dem durch ihre Auswurfsprodukte erzeugten Kraterwall einnehmen. Endlich ist als sehr charakteristische Eigenart dieser Mondgebilde hervorzuheben, daß die innere Ebene fast ausnahmslos wesentlich tiefer liegt als das Niveau der umgebenden Landschaft, was bei keinem irdischen Vulkan der Fall ist und bei der Entstehungsweise der letzteren auch nicht der Fall sein kann. Andere Wallebenen der beschriebenen Art sind Albategnius (Nr. 139 unserer Mondkarte) in der Nähe des Ptolemäus; Archimedes (Nr. 10) im Mare Imbrium; Plato (s. die obenstehende Abbildung) am Nordrande desselben Meeres (Nr. 20) und Schickard (66) dicht am Südostrande des Mondes. Archimedes findet sich auf der Landschaft der Mondapenninen (s. die Tafel bei S. 84) als das größte der in der Mare-Ebene befindlichen Ringgebilde mit dargestellt. Eine sehr eigentümliche Abweichung von der Regel bildet die neben Schickard stehende Wallebene Wargentin (60), die deutlich wie ein Schachteldeckel erhaben auf der umgebenden Ebene liegt und nicht vertieft wie die übrigen ähnlichen Gebilde.

1



2



Das Ringgebirge Plato: 1) bei aufgehender Sonne, 2) bei Mittagsbeleuchtung. Nach Neison.



Das Ringgebirge Plato bei aufgehender Sonne. Gezeichnet von L. Weinek in Prag am 10. November 1884.

Irdischen Formen schon weit ähnlicher sind diejenigen Ringgebirge, die einen Zentralkegel oder ein ganzes Zentralgebirge enthalten. Die größten dieser Ringgebirge

erreichen die Ausdehnungen der mittelgroßen Wallebenen. Als Typus dieser Mondgebilde gilt Kopernikus (Nr. 4), eins der auffälligsten Objekte auf der über das erste Viertel hinaus gewachsenen Mondscheibe, das nach dem 9. Tage des Mondalters auftritt. Wir haben ihn untenstehend vergrößert nach der Zeichnung wiedergegeben, die Weinek nach einer Aufnahme der Lick-Sternwarte angefertigt hat.

Diese Ringgebirge mit Zentralkegel haben aber noch manche Familienähnlichkeit mit den Wallebenen: der Kraterboden liegt wesentlich tiefer als das äußere Terrain, und die meist höchst imposanten Ringwälle stehen in keinem Verhältnis zu den wenig hohen Zentralkegeln, die indes augenscheinlich irgendwelchen genetischen Zusammenhang mit jenen haben. Selten zeigen diese Zentralberge Andeutungen einer Auswurfsöffnung, die doch sehr bedeutend sein müßte, wenn etwa, wie bei den irdischen Vulkanen, die Ringwälle sich nur aus den Produkten aufgetürmt hätten, welche die Auswurfsöffnung bei den Eruptionen ausschleudert. Niemals erheben sich diese Zentralberge über die Spitzen des Ringgebirges empor, bleiben vielmehr fast immer unter der halben Höhe der inneren Einsenkung, deren Boden bei den Ringgebirgen nicht mehr so eben zu sein pflegt wie bei den großen Wallebenen, und stets senken sie sich nach der Mitte zu, sind also grubenförmig. Das Innere der meisten dieser Ringgebirge scheint aus einem helleren Stoffe zu bestehen als die übrige Oberfläche des Mondes.



Der Mondkrater Kopernikus, 14fach vergrößert. Gezeichnet von L. Weinek in Prag nach einer Originalaufnahme der Lick-Sternwarte vom 28. Juli 1891.

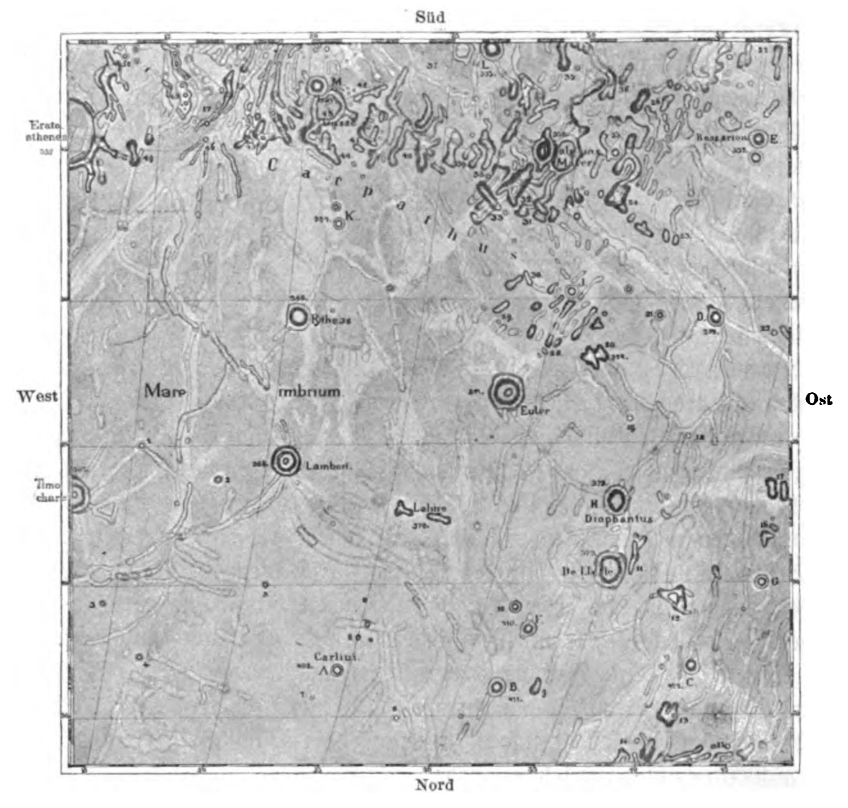
Um den Typus dieser Ringgebirge noch näher kennen zu lernen, beschreiben wir an der Hand der oben gegebenen Zeichnung und der betreffenden Messungen des schon vorhin erwähnten Mondforschers Schmidt die Landschaft des Kopernikus-Kraters etwas eingehender. Obgleich der Ringwall in seinen Hauptzügen ziemlich genau einen Kreis bildet, sehen wir doch sofort, daß er keine einfache, in sich zusammenhängende Mauer, sondern

ein vielfach zerklüftetes Gebirge ist, das amphitheatralisch in mehrfachen Terrassen an- und wieder absteigt. Der bloße Anblick zeigt auch schon, daß diese Terrassen von außen her viel sanfter ansteigen, als sie nach innen abfallen. Zwischen diesen äußeren Terrassen gemessen hat das Ringgebirge einen Durchmesser von etwa 124 km; dächte man sich also die Stadt Leipzig im Zentrum dieses Ringgebirges gelegen, so würden die Hügelketten der äußeren Terrasse etwa von Chemnitz über Riesa, Wittenberg, Eisleben, Apolda bis Zwickau hinziehen. Diese Hügelketten erheben ihre höchsten Spitzen kaum 800—900 m über das Niveau der umgebenden Mare-Ebene und steigen daraus mit Neigungswinkeln von etwa 10 Grad an. Nach innen dagegen fällt die Terrasse gegen den Hauptwall schroff unter Winkeln von 40—60 Grad ab. Aus der zwischenliegenden Talsenkung erhebt sich der Hauptwall im allgemeinen noch 1000—1500 m über die Terrasse empor; er ist jedoch vielfach zerrissen, eingeschnitten und von einzelnen Piks oder domförmigen Aufragungen gekrönt. Die höchste und durch ihren Schattenwurf auffälligste liegt auf der Westseite und erreicht etwa die Montblanc-Höhe. Der Durchmesser dieses Hauptwalles beträgt immer noch mehr als 90 km. Er fällt steil gegen die Innenebene ab, wieder in Winkeln von 56—60 Grad. Der Absturz geht aber hier viel tiefer hinab, als das Gebirge von außen anstieg, so daß die innere, etwa 53 km im Durchmesser haltende Fläche ca. 2400 m unter dem allgemeinen Niveau liegt.

Dieser Kraterboden, wie man solche im Inneren der Ringgebirge gelegenen Ebenen analog mit irdischen Gebilden unter aller nötigen Reserve genannt hat, ist aber, auch abgesehen von den Zentralbergen, keineswegs eben, denn außer deutlichen Erhebungen und Gruben erkennt man bei sehr günstigem Luftzustande, daß hier der ganze Boden mit kleinen Unebenheiten übersät ist. Die Weinekſche Vergrößerung deutet dies durch eine Unzahl feiner, wurmspurartiger Adern an, die nur bei genauerem Hinsehen erkennbar sind. Dieses Innere und der Hauptwall sind, namentlich wenn bei Vollmond die Sonne senkrecht über ihnen steht, von einem besonders hellen Glanze, und einzelne Stellen bewahren diesen sogar zuweilen, wenn hier schon alles in tiefe Nacht gehüllt ist. Aus dem Kraterboden ragen die Zentralberge mit verhältnismäßig wenig steilen Böschungen von etwa 20 Grad bis zu 600 m auf, so daß ihre Gipfel immer noch 1800 m unter der äußeren Umgebung des Copernikus bleiben, und man sie, auf dem höchsten Punkte des Hauptwalles stehend, etwa 4000 m unter sich sehen würde.

Vergegenwärtigt man sich alle diese Verhältnisse, so wird man, wie groß auch bei oberflächlicher Betrachtung die äußere Ähnlichkeit dieser Ringgebirge mit unseren Vulkanen sein mag, doch zugeben müssen, daß es in Wirklichkeit auf der Erde keine Landschaft gibt, die mit ihnen verglichen werden könnte. Die Ähnlichkeit dieser auf dem Monde in allen erdenklichen Dimensionen bis zu den verschwindend kleinsten vorkommenden kreisförmigen Gebilde mit irdischen Vulkanen wird indes immer größer, je weniger Ausdehnung jene Formationen haben. Wir dürfen nur nicht vergessen, daß die kleinsten Objekte, die wir auf den modernen Mondphotographien eben noch unterscheiden können, unseren größeren Vulkanen gleichkommen müßten; und wenn man auch, wie wir vorhin fanden, mit unseren heutigen Fernrohren zweifellos mehr direkt sieht als mit Hilfe der Photographie, so repräsentieren die allerfeinsten Kratergrübchen, die man unter günstigsten Bedingungen auf dem Mond zu sehen vermag, doch Gebilde, die an Größe immer noch die meisten unserer irdischen Feuerberge übertreffen würden.

Eine offenbar tief begründete Verschiedenartigkeit des topographischen Oberflächenbildes unseres Mondes gegenüber dem der Erde wird ferner durch das unbedingte Vorherrschen der ringförmigen Berggebilde hervorgerufen. Während man auf der Erde nur etwa 300 Vulkane, tätige und erloschene, zählt, weist die „Charte der Gebirge des Mondes" von Schmidt nicht weniger als 32,856 Krater auf. Diese Karte enthält aber sicherlich nicht alle auf dem Monde wirklich vorhandenen Gebilde dieser Art. Schmidt selbst erklärt, daß man mit 600facher Vergrößerung wohl an 100,000 Krater dort zählen könnte, und Pickering

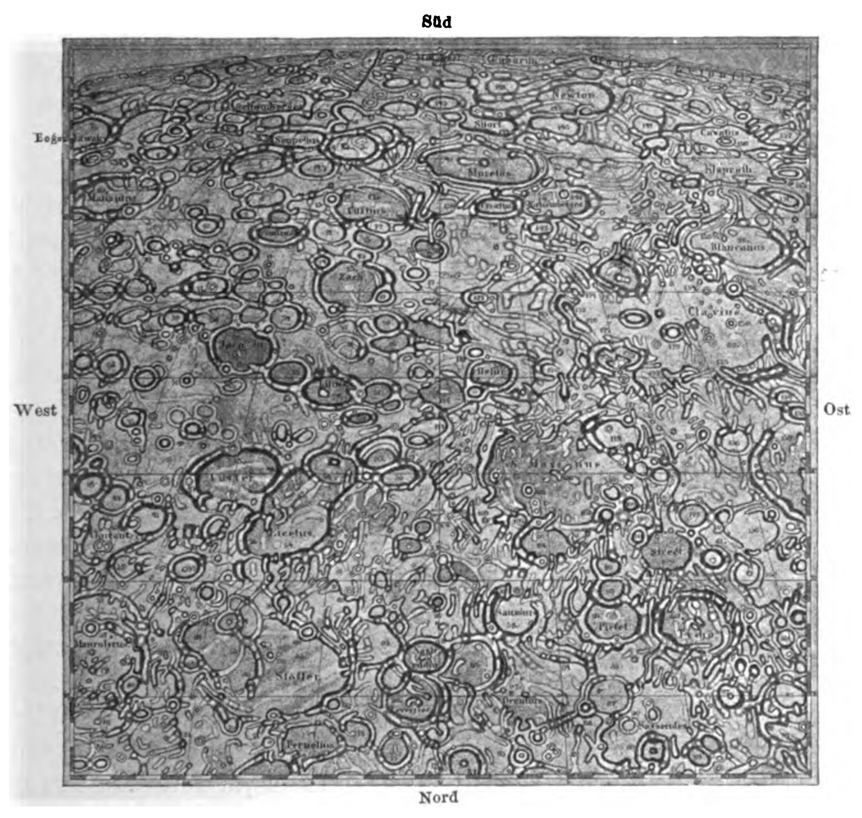


Sektion V von Lohrmanns großer Mondkarte. Verkleinerung des Originals. Vgl. Text, S. 83.

verdoppelt noch diese Zahl der mit den modernen optischen Hilfsmitteln gut erreichbaren Kratergebilde, deren obere Grenze er sogar bei einer Million annimmt. Dabei darf man, wie gesagt, als sicher annehmen, daß viele Tausende von Ringbergen auf dem Mond existieren, die wegen ihrer Kleinheit überhaupt nicht wahrgenommen werden können. Berücksichtigt man zudem, daß die gesamte Oberfläche des Mondes 13,4mal kleiner ist als die der Erde, und daß man nicht viel mehr als die Hälfte der Oberfläche von uns aus sehen kann, so findet man, daß auf ein Flächengebiet, das auf der Erde durchschnittlich einen Vulkan beherbergt, auf dem Monde viele tausend Ringberge kommen.

In Wirklichkeit sind aber diese Gebilde nicht gleichmäßig über die Oberfläche unseres Trabanten verteilt, so daß auf gewissen Gebieten eine noch viel größere Häufung der Ringberge stattfindet, als jener Durchschnitt ergeben würde. Die Karte des Mondes zeigt auf

den ersten Blick, daß die nördliche Hälfte seiner für uns sichtbaren Oberfläche, die zugleich die großen Mare-Ebenen einschließt, bedeutend weniger mit Kraterlöchern durchsetzt ist als die südliche. Sehr selten treten sie offenbar in den Mare-Ebenen auf. Ein anschauliches Bild von dieser ungleichmäßigen Verteilung gibt die Nebeneinanderstellung der beiden Sektionen V und XXIII der Lohrmannschen Mondkarte (s. Abbildungen, S. 82 und unten). Beide Bilder geben ein gleichgroßes Stück der scheinbaren Mondscheibe wieder, wobei zu berücksichtigen ist, daß das der Sektion XXIII angehörige Gebiet in Wahrheit auf dem



Sektion XXIII von Lohrmanns großer Mondkarte. Verkleinerung des Originals.

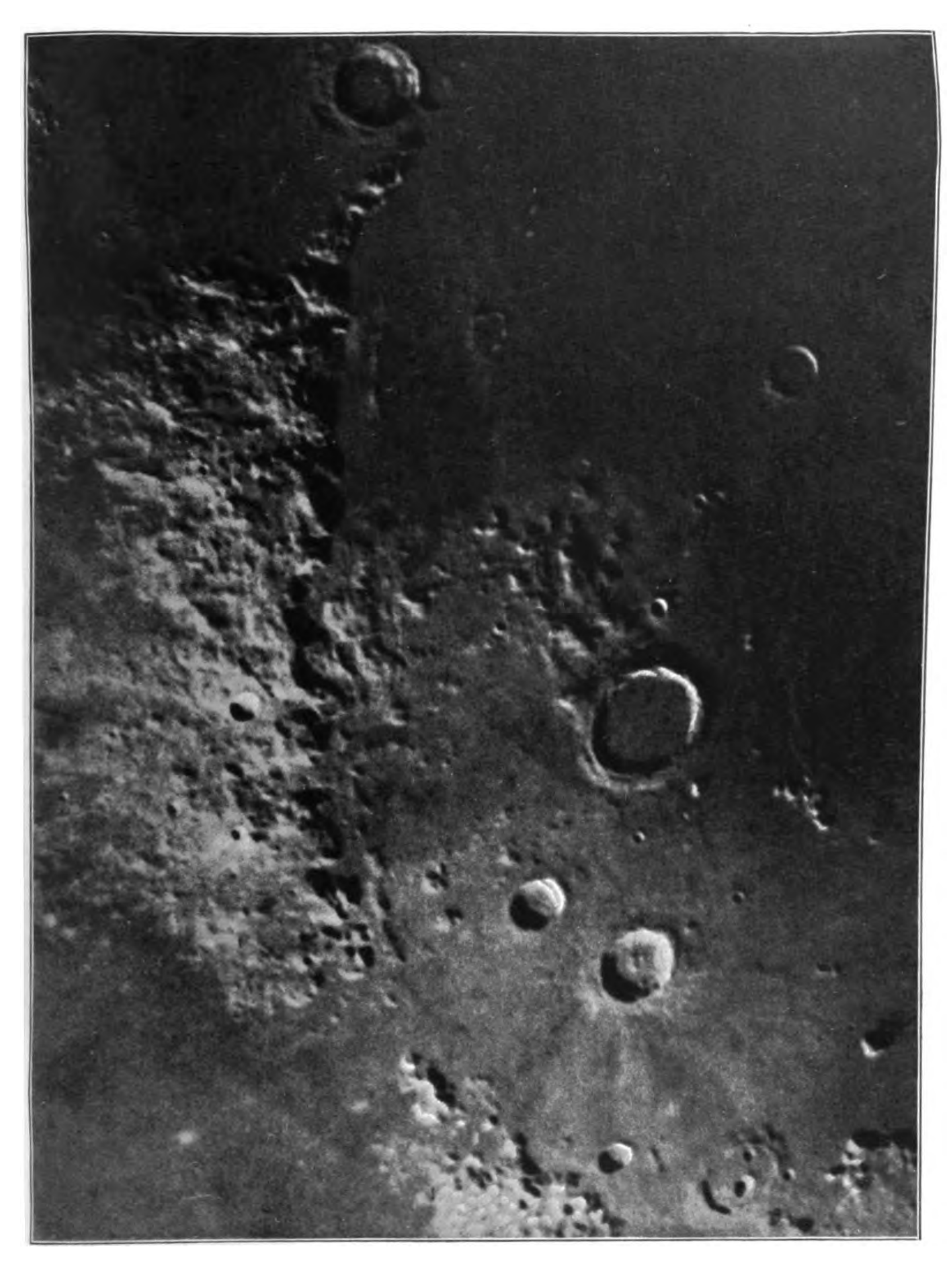
Monde wegen der größeren Verkürzung, unter der wir es sehen, eine größere Oberfläche einnimmt als das Gebiet der Sektion V. Erstere gehört dem Südpol des Mondes an, letztere befindet sich im Nordostquadranten und enthält namentlich die Fläche des Mare Imbrium. Wir sehen hier die Ringberge nur sehr spärlich verteilt, während das wiedergegebene Gebiet des Südpols förmlich davon übersät ist.

Noch augenfälliger tritt der „pockennarbige" Charakter der Südpolgegend in der nach einer Aufnahme der Lick-Sternwarte auf Seite 85 dargestellten Umgebung des auch noch in anderer Hinsicht interessanten Mondkraters T y ch o hervor. Die Krater häufen sich hier so eng zusammen, daß sie oft einander verdrängen, sich übereinander lagern oder ineinanderschieben. Letzteres ist unter anderem sehr deutlich bei den Kratern 97, 98 und 99 (Pictet) der Sektion XXIII (s. oben) zu erkennen. Der Krater 98 ist offenbar eine spätere Bildung

als 97, denn sein Ringwall hat den des letzteren im Süden völlig zerstört und seinen eigenen Wall in dem ursprünglichen Kraterboden von Pictet aufgebaut. Der Krater 99 entstand weiter südlich davon, so daß er einen Teil seines Ringwalles mit seinem Nachbar gemeinsam hat. In anderen Fällen ist dieser gemeinsame Ringwall gar nicht vorhanden, und die Kraterböden sind in unmittelbare Verbindung miteinander getreten; an anderen Stellen wieder reihen sich die Krater perlenschnurartig nebeneinander. Kurz, es ist kaum irgend eine denkbare Kombination dieser rätselhaften Gebilde auf dem Monde nicht vertreten. Einen sehr eigentümlichen Eindruck machen die kleinen und kleinsten Kratergruben, die namentlich in der Nähe größerer Ringgebirge massenhaft auftreten und dem Terrain dann das Aussehen geben, als ob hier ungeheure Regentropfen einen zähflüssigen Boden ausgehöhlt hätten. Vor allem um Tycho, Ptolemäus und Copernikus sieht man viele dieser kleinen Gruben.

Der Gebirgscharakter des Mondes unterscheidet sich also von dem der Erde durch das unbedingte Vorherrschen der Ringgebirge auf dem Monde, während bei uns die Reihengebirge die normale Form bilden. Solche Kettengebirge gibt es zwar auch auf dem Mond, und einige treten sogar unter gewissen Beleuchtungsverhältnissen sehr deutlich hervor, wie namentlich der Gebirgszug der Mondapenninen, der etwa zur Zeit des ersten und letzten Viertels, wenn er sich an der Schattengrenze befindet, einen ungemein reizvollen Anblick gewährt. Dieses Gebirge ist in beigehefteter Tafel nach einer Photographie der Lick-Sternwarte wiedergegeben. Im Fernrohre bei direktem Anblick erkennt man jedoch eine noch bedeutend verwickeltere Gliederung. In Mädlers Karte sind etwa 500 Gipfel dieses Gebirges eingetragen; derselbe Forscher meint aber, daß dieses Gebirge in Wirklichkeit aus 2—3000 Einzelgipfeln besteht. Sehen wir uns den Aufbau dieser Gebirgszüge näher an, so geht es uns damit ebenso wie mit den Ringbergen. Wir erkennen, daß ihre Ähnlichkeit mit den betreffenden Gebilden der Erde mehr eine zufällige, nicht durch innere Verwandtschaft begründete ist. Um dies zu zeigen, haben wir auf Seite 86 die Insel Korsika in derselben Art dargestellt, wie man sie in der Beleuchtung eines Mondgebirges etwa sehen würde. Während sich hier von einer Mittellinie höchster Erhebungen die Seiten des Gebirges ziemlich gleichmäßig abdachen und die durch Auswaschung entstandenen Quertäler sich wie ein Geäst um den Hauptstamm gruppieren, wird man einen ähnlichen, durch Faltung der zusammenschrumpfenden Erdrinde erklärlichen Aufbau in dem lunaren Gebirgszuge nicht entdecken können. Dagegen zeigt der letztere eine auffällige Ähnlichkeit mit einem Teile des Ringwalles einer Wallebene. Von Südwesten her steigen die Apenninen sehr sanft in Terrassen an, erreichen hart am Mare Imbrium ihre maximale Höhe (der höchste Gipfel, Huygens, erhebt sich etwa 5600 m über die Ebene) und fallen dann schroff nach dem Mare ab. Auch bilden die Hochgipfel dieser Mondgebirge nicht die auf der Erde so charakteristische eingesägte Kammform mit Zähnen, Nadeln, Hörnern usw., sondern haben meistens domförmig abgerundete Gestalt, wie auch die Gipfel der Ringwälle.

Sehen wir uns das Mare Imbrium auf diese vermutete Verwandtschaft mit den Wallebenen hin näher an, so machen wir die Entdeckung, daß es in der Tat fast überall an seinen Rändern mit ähnlichen Gebirgszügen umgrenzt ist, die sich zu einem ungeheuren, nur an verhältnismäßig wenigen Stellen unterbrochenen Ringwalle zusammenschließen. Im Süden bildet diesen Ringwall das Mondgebirge der Karpathen, im Südwesten schließen



Das Apenninen-Gebirge auf dem Monde.

Nach einer auf der Lick-Sternwarte hergestellten photographischen Aufnahme.

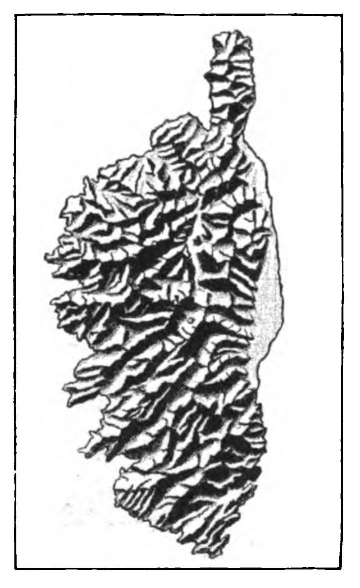
sich die Apenninen an, dann folgen im Nordwesten die Alpen, ein breit entwickeltes, ungemein interessantes Gebirge, dessen östlichste Bergreihen an die schöne Wall-



Der Mondkrater Tycho mit Umgebung. Nach dem Originalnegativ der Lick-Sternwarte vom 10. November 1892 16fach vergrößert von L. Weinek in Prag. Vgl. Text, S. 83.

ebene des Plato grenzen. Weiter östlich setzt sich das Reihengebirge fort und bildet das schroff in die Mare-Ebene vorspringende Kap Laplace (Nr. 15 unserer Mondkarte), das offenbar an der Stelle entstand, wo eine andere große Wallebene sich halb über

den Rand der das Mare Imbrium umschließenden Ringmauer von mächtigen Gebirgen hingelagert hatte, von der heute nur noch die nördliche Hälfte als Sinus Iridum, „Regenbogenbucht", vorhanden ist. Die sich hier anschließende östliche Umrahmung des Mare Imbrium besteht zwar nur aus niedrigeren Höhenzügen, aber ihr Streichen verrät deutlich den Zusammenhang mit den übrigen Teilen des gewaltigen Ringwalles. Es läßt sich ferner nachweisen, daß die auf der sichtbaren Mondscheibe sich stark elliptisch darstellende Innenfläche des Mare Imbrium in Wirklichkeit auf dem kugelförmigen Mond einen ziemlich genauen Kreis bildet, der nur durch die schräge Lage unserer Gesichtslinie so verkürzt erscheint. Dieses 880,000 qkm umfassende Gebiet, das den zweiundzwanzigsten Teil der gesamten sichtbaren Mondhalbkugel ausmacht, ist also eine ungeheure Wallebene, ebenso aufgebaut wie alle die anderen Tausende von sogenannten Mondkratern.



Die Insel Korsika bei schräger Sonnenbeleuchtung aus der Vogelperspektive gesehen. Vgl. Text, S. 84.

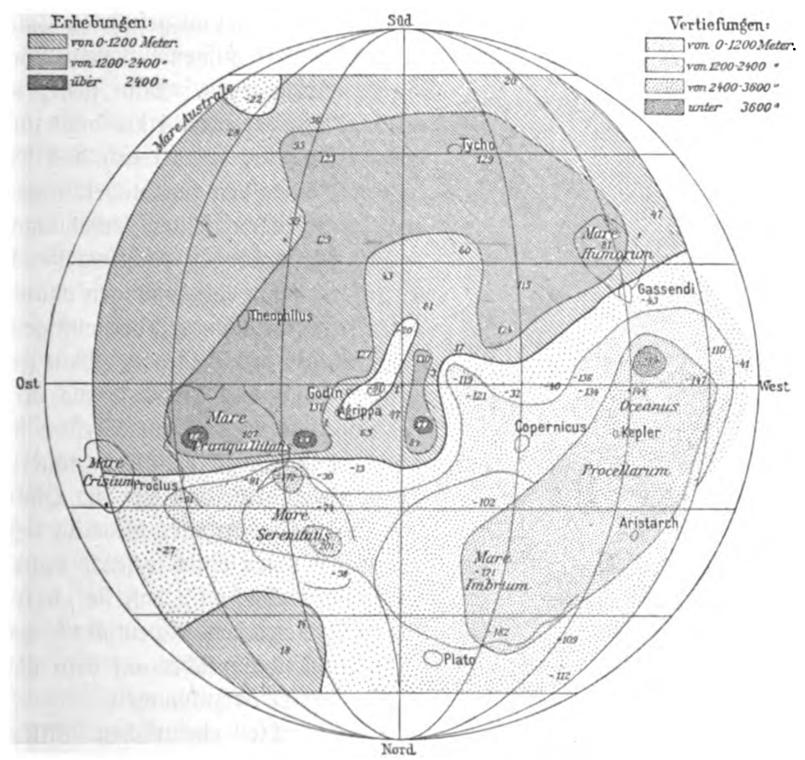
Auch die übrigen größeren Reihengebirge des Mondes umschließen kreisförmige Ebenen, wie Hämus und Taurus das Mare Serenitatis. Wir kommen also zu dem Schlusse, daß auch diese Gebirgsformen nur eine äußere Ähnlichkeit mit den unsrigen haben, genetisch aber zweifellos von ihnen verschieden sind und mit der Bildung der großen Wallebenen in engem Zusammenhange stehen.

Auch die Eigenschaft haben die Mare-Ebenen mit den Wallebenen gemein, daß sie wesentlich tiefer liegen als das Durchschnittsniveau der Mondoberfläche. In neuerer Zeit hat sich Franz in Breslau die Aufgabe gestellt, ein allgemeines Nivellement der Mondoberfläche auszuführen, woraus die Seite 87 eingefügte Höhenkurvenkarte entstand. Es erwies sich, daß z. B. das Mare Tranquilitatis beim Krater Plinius etwa 3 km dem Mondmittelpunkte näher liegt als das angenommene Durchschnittsniveau, während das Bergland am Südpol um mindestens denselben Betrag sich über dieses Niveau erhebt. Es handelt sich hier also um sehr erhebliche Deformationen der Gestalt des Mondes, die uns noch mehrfach interessieren werden.

Anders als wie mit diesen Gebirgszügen, welche die Mare-Ebenen umgeben, verhält es sich mit den sogenannten Bergadern, niedrigen Hügelketten, die auf dem Monde in ziemlich großer Zahl auftreten, sich vielfach verzweigen, keine ringförmige Anordnung verraten und überhaupt dem Typus der irdischen Gebirgsformen nahekommen. Sie steigen stets in sehr sanften Böschungen von kaum 5 Grad Neigung an, und nach Mädler erheben sich einige dabei nicht mehr als 15—20 m. Sie würden deshalb kaum gesehen werden können, wenn sie wegen ihrer Flachheit nicht sehr breit wären; immerhin sieht man die meisten von ihnen nur bei ganz schräger Sonnenaufgangs- oder -Untergangsbeleuchtung. Diese Bergadern kommen nur in den Mare-Ebenen und in den verwandten Innenflächen der Wallebenen vor, stehen aber offenbar in keinerlei Zusammenhang mit den umgebenden Ringwällen oder den begrenzenden Reihengebirgen. Ihre breiten Rücken ziehen sich oft viele Kilometer weit hin, ohne von merklich hervorragenden Gipfeln unterbrochen

zu werden. Ein Gebiet, auf dem derartige Höhenzüge in charakteristischer Weise auftreten, ist der südöstliche Teil des Mare Imbrium (Sektion V der Lohrmannschen Karte bei S. 82).

Sehr auffällig unterscheidet sich die Gebirgsnatur des Mondes von der der Erde auch dadurch, daß auf unserer Nachbarwelt vereinzelt stehende Bergkegel, Piks, Klippen weit häufiger vorkommen als bei uns. Besonders aus den Mare-Ebenen erheben sie sich oft ganz plötzlich mit großer Steilheit, ein Bergkegel, wie z. B. der

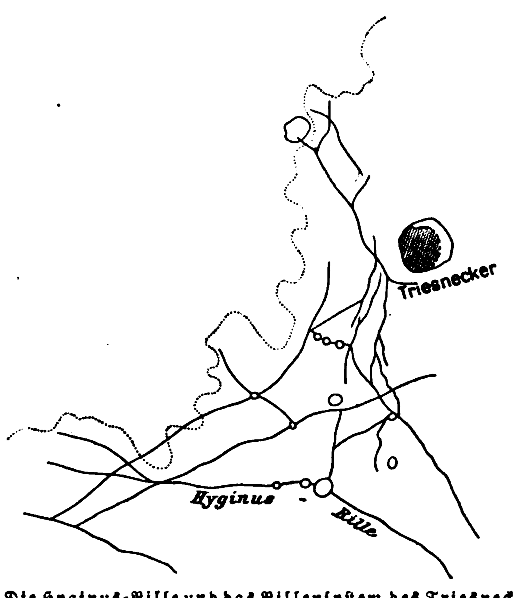


Durchschnittsniveau des Mondes nach J. Franz. Vgl. Text, S. 86.

Pico, der etwas südlich von der Wallebene des Plato aus der Fläche des Mare Imbrium mit Neigungswinkeln von 30—35 Grad bis zu mehr als 2000 m aufsteigt. Seine Höhe kommt also etwa der des Rigi oder des Pilatus gleich, aber vergebens würde man auf der Erde einen Berg von ähnlichen Dimensionen suchen, der ohne jede Verbindung mit Gebirgsketten vereinzelt wie dieser aufragte; denn selbst unsere Vulkane stehen meist auf den Kämmen hoher Gebirgszüge, wie die der Sierra Nevada und der Anden. Wo aber dieses nicht der Fall ist und ein Feuerberg scheinbar ganz unvermittelt aus der Ebene aufsteigt, da verrät der größere Überblick auf der Karte doch stets, daß er nur ein Glied aus einer perlenschnurartigen Reihe von Vulkanen ist und mit den anderen hinsichtlich der Entstehung in Zusammenhang steht. Nichts dergleichen ist bei jenen zahlreichen, vereinzelt stehenden Bergkegeln des Mondes der Fall, die auch sonst in ihrem Aufbau nichts zeigen, was man auf einen vulkanischen Ursprung zurückführen könnte. Diese einsamen Kegel haben übrigens meist außerordentlich hellstrahlende Kuppen.

Seltsamer aber und mit irdischen Objekten noch weniger vergleichbar als die bisher geschilderten Bergformen stellen sich uns zwei andere topographische Eigentümlichkeiten der Mondoberfläche dar, die sogenannten Rillen und die Strahlensysteme.

Die Rillen sind am besten mit ungeheuren Rissen in der Mondoberfläche zu vergleichen. Wir müssen zwei Arten scharf voneinander trennen, die offenbar ganz verschiedenen Ursprung haben, und von denen die eine nur sehr selten vorkommt. Ihr vornehmster Repräsentant ist das große Quertal der Alpen, das wir auf der zu Seite 93 gehefteten Tafel in der rechten Abbildung nach der von Weinek ausgeführten Vergrößerung einer von Loewy und Puiseux in Paris am 14. März 1894 aufgenommenen Photographie wiedergeben. Man sieht, wie dieser Riß, der etwa 4 km breit und 150 km lang ist, quer durch das Massiv der Mondalpen ganz unbekümmert um das Streichen seiner Erhebungsketten in schnurgerader Richtung verläuft, nach irdischen Anschauungen ohne jeden Zusammenhang mit der sonstigen Morphologie des Gebirges. Man gewinnt zunächst den Eindruck, als ob man vor einer ungeheuren Bresche stände, die von einem weltkörpergroßen Geschosse herrührte, das hier die Oberfläche des Mondes streifte. Schmidt bemerkt noch zu einer Rille westlich vom Ringwall des Cäsar, daß sie „den Charakter des großen Alpentales" hat. Sonst scheint Ähnliches auf dem Monde nicht weiter vorzukommen.

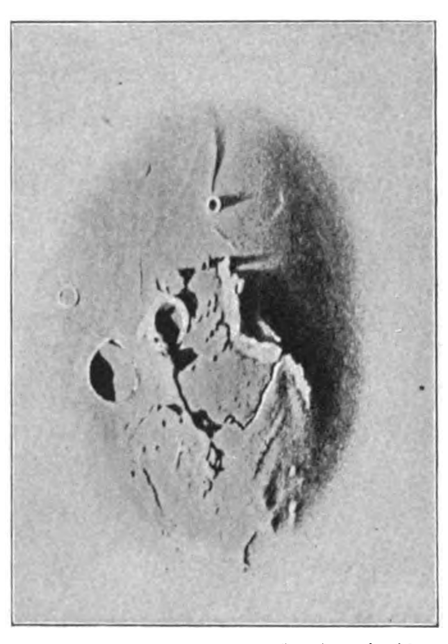


Die Hyginus-Rille und das Rillensystem des Triesnecker in schematischer Darstellung.

Die eigentlichen Rillen, deren Schmidt in seinem großen Werke 348 aufzählt, haben dagegen das Aussehen von wirklichen Rissen in der Mondoberfläche; sie sind keine Täler, sondern öffnen ihre senkrecht meist ohne alle Aufwerfungen am Rand abfallenden Klüfte plötzlich in der Ebene. Sie sind deshalb auch nur bei ganz niedrigem Sonnenstande zu sehen, wenn vom Inneren der Kluft noch nichts beleuchtet ist; sobald die Sonne etwas höher steigt, so daß sie die eine Seitenwand trifft, verschwindet die Rille für uns vollständig, bis auf einige wenige Fälle, in denen Mädler Rillen bei Vollmond als äußerst zarte helle Linien gesehen hat. Während diese Risse gleichfalls meistens ziemlich geradlinig verlaufen, zeigen sie doch, abweichend von den oben erwähnten „Breschentälern", gelegentlich auch Verzweigungen und Krümmungen, die sie in einzelnen Fällen Flußläufen nicht unähnlich machen. Wir geben oben und Seite 89 zwei Rillendarstellungen, von denen die erste, die nahezu in der Mitte der Mondscheibe befindliche mächtige Hyginus-Rille, als deutlicher Oberflächenriß erscheint, der sich quer durch den Mittelkrater hindurch sprengte und auch noch eine Anzahl kleinerer Krater in seinem weiteren Wege durchbrach, während die vom Herodot ausgehende Rille zu dem viel selteneren Typus der gewundenen Einsenkungen gehört, die in dem vorliegenden

Falle ganz den Eindruck macht, als sei sie das Tal eines Flusses, der in einen von den Ringwällen des Herodot eingeschlossenen Kratersee mündet.

Die Rille beginnt, wenn wir sie von ihrer breitesten Stelle zurückverfolgen, auf dem Kraterboden, durchbricht den Ringwall im Norden, setzt sich in einigen leichten Wellenlinien zunächst nördlich fort, immer zwischen Bergreihen hindurch, bis zu einer Stelle, wo eine Hügelkette einem Flußlauf den Weg versperren würde, biegt dann, ganz wie es in diesem Terrain ein Wasserlauf tun würde, nach Südosten um, unterhalb eines Bergrückens hinstreichend, und verliert sich endlich in einer Ebene, welche die Gebirgsgliederung an dem Ufer des Oceanus Procellarum offen läßt. Bei näherer Betrachtung treten jedoch auch Oberflächengestaltungen in Verbindung mit dieser merkwürdigen Rille zutage, die ganz entschieden gegen ihren Charakter als ursprünglicher Flußlauf sprechen. Der Verfasser hat erst kürzlich wieder mit einem ganz vorzüglichen Vierzöller von Zeiß in Jena unter dem wunderbar durchsichtigen Himmel Capris diese Gegend bei günstigster Beleuchtung näher auf diese Frage hin angesehen und fand zunächst, daß die Rille gerade einen der höchsten Punkte des Ringwalles durchbricht, während mehr östlich davon ein niedrigeres Terrain dem Wasser viel leichteren Weg gelassen hätte. Gleich nördlich unterhalb der Mündung befindet sich, auf der hier wiedergegebenen Weinekschen Zeichnung nicht angegeben, ein kleiner kuppelförmiger Berg, den die Rille sehr deutlich mitten durchbricht. Ein Fluß würde den Berg natürlich umgangen haben. Es ist auch darauf hingewiesen worden, daß das Terrain, in dem die Rille sich östlich verliert, entschieden tiefer liegt als der Krater, in den sie mündet.

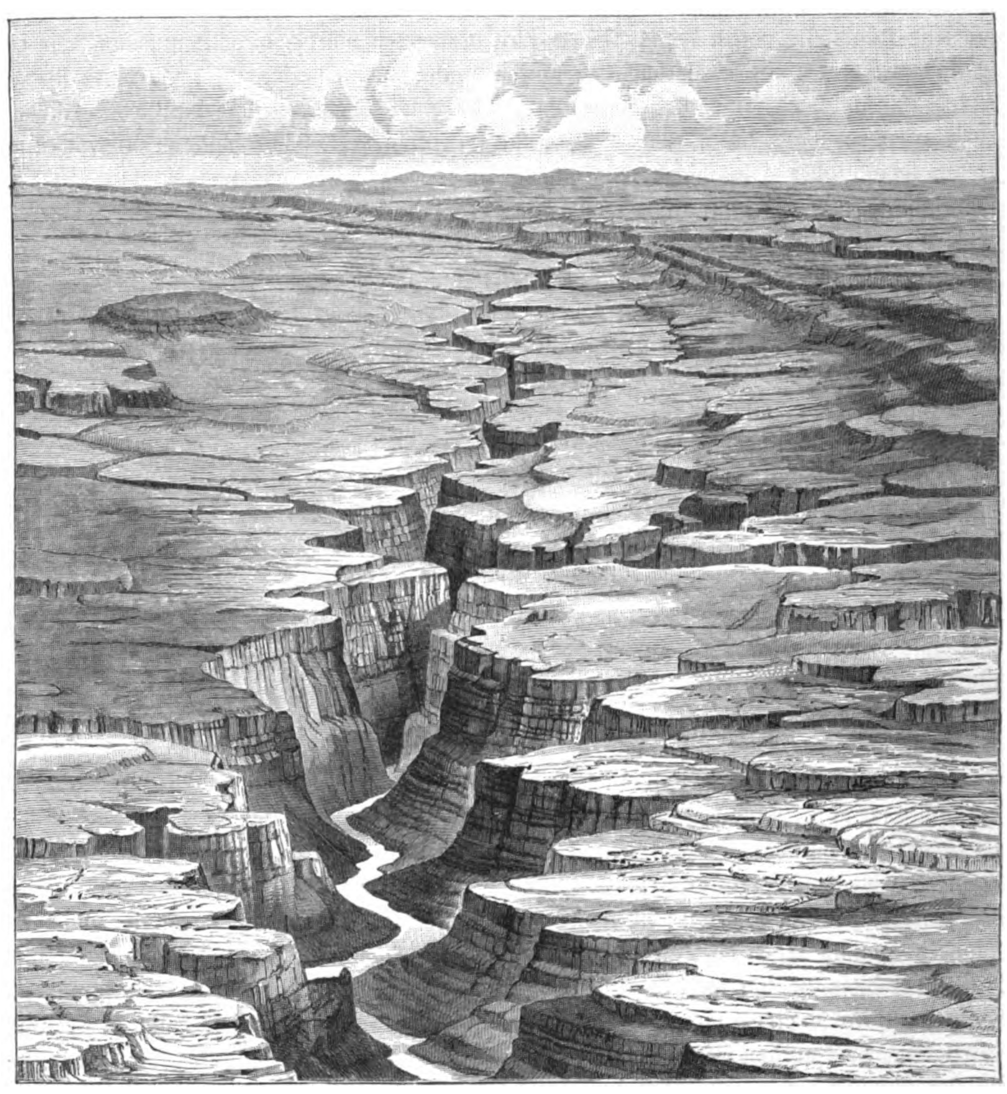


Die Mondkrater Aristarch und Herodot. Gezeichnet von L. Weinek in Prag am 6. März 1887. Vgl. Text, S. 88.

Man hat deshalb die Vermutung ausgesprochen, diese und ähnliche Rillen könnten Ausflüsse aus den Wallebenen gewesen sein, wo vielleicht geiserartige Erscheinungen Wasser aus dem Mondinneren getrieben hatten, das in diesen Rinnen seinen Ausweg fand. Jedenfalls sind dann aber diese Gebilde nicht durch die erodierende Tätigkeit des Wassers selbst entstanden, sondern auf irgend eine andere Weise aufgerissen worden, indem sie das vorhandene Terrain sprengten. Wir müssen also die Behauptung zurückweisen, daß diese Rillen ihr Gegenstück auf der Erde in den amerikanischen Cañons hätten, besonders in dem des Colorado. Das Bild auf Seite 90 des großen Colorado-Cañons wird wohl einen ähnlichen Eindruck machen, wie ihn einige der Rillen auf dem Monde für einen dortigen Beobachter hervorrufen würden. Einen wesentlichen Unterschied von diesen Klammbildungen unserer Flüsse müssen wir aber, wie schon gesagt, in dem Umstand erkennen, daß der Verlauf der Rillen sich nicht an die Höhenverschiedenheiten des Terrains kehrt, sondern ohne irgendwelche Ablenkung Kraterwände und Höhenzüge durchbricht.

Solche wirkliche Spaltungen der Gebirgsmassen und klaffende Risse weist zwar auch

die Erdoberfläche auf. Sie sind dann meist Folgen der sogenannten tektonischen Bewegungen der Erdrinde, welche die Faltungen unserer Gebirge erzeugten, sind also gleichfalls nicht durch das Wasser hervorgebracht. Sie erreichen indes bei uns niemals so gewaltige Dimensionen, wie sie die Mondrillen haben, und sind überhaupt selten. Als eines



Der Cañon des Colorado-Flusses in Nordamerika, als irdisches Gegenstück der Mondrillenbildung. Vgl. Text, S. 89.

der bedeutendsten irdischen Gebilde dieser Art darf man das Yosemitetal ansprechen, das den Granit der kalifornischen Sierra Nevada durchsprengt hat und fast senkrechte Abstürze von 1000 m bildet, deren obere Ränder oft 2—3 km voneinander abstehen. Die Abbildung auf Seite 91 gibt dieses Gebiet wieder, wie es sich unter entsprechenden Beleuchtungsverhältnissen vom Mond aus darstellen müßte. Sieht man aber von Gebirgsformen ganz ab, so könnte man die Rillen ihrem Aussehen nach vielleicht am besten mit jenen

Rissen vergleichen, wie sie in austrocknenden Ton- oder Schlammassen entstehen. Die sehr bedeutenden Temperaturdifferenzen, denen die Mondoberfläche, wie wir gleich noch näher sehen werden, in kurzen Zwischenzeiten ausgesetzt ist, mag wohl zu Spannungen Anlaß gegeben haben, bei deren Lösung solche Risse entstehen konnten. In gewissem Sinne bekommen dieselben dann eine genetische Verwandtschaft mit den großen Spaltensystemen der Erde, auf die sich ihre Vulkane setzten, denn auch diese sind ja durch Abkühlung der Erdrinde entstanden. Nun zeigt es sich in der Tat, daß längs der Mondrillen kleine Kratererhöhungen perlschnurartig verteilt sind, die von den Spalten mitten durchquert werden. Auch die vorhin erwähnte Bergkuppe, welche die Rille beim Herodot durchbricht, gehört hierher. In diesem Falle hätten wir also ein vollkommenes Analogon mit der Erde, nur daß auf dem Monde die Spalten noch als solche deutlich sichtbar geblieben wären, die auf der Erde sich durch die mannigfaltigen Einflüsse der Atmosphärilien verwischt haben. Die kleinen Krater auf den Rillen wären dann wirkliche Vulkane im Sinne der uns auf der Erde bekannten.

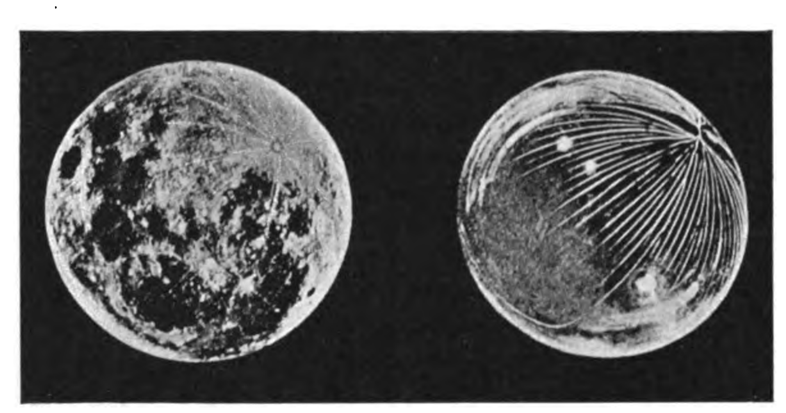


Das Yosemitetal als Mondrille gedacht. Vgl. Text, S. 90.

Ganz ohne alle Möglichkeit der Vergleichung mit Gegenständen der Topographie unserer Erde aber stehen die sogenannten Strahlensysteme des Mondes da. Diese sind weder Erhöhungen noch Vertiefungen, denn sie werfen keine Schatten; sie sind deshalb bei niedrigem Sonnenstand überhaupt nicht wahrzunehmen, während sie bei Vollmond, wenn sonst fast alle anderen topographischen Einzelheiten der Mondoberfläche für uns verschwinden, so auffällige Objekte werden, daß Mädler behauptete, man könne sie unter günstigen Bedingungen mit dem freien Auge erkennen; jedenfalls zeigt sie jedes Opernglas. Wir sehen dann von gewissen Punkten der Mondoberfläche breite, helle Streifen sich radial nach allen Seiten ausbreiten. Ihr Mittelpunkt ist ausnahmslos ein Ringgebirge, beziehungsweise ein Krater. Die beiden größten Strahlensysteme gehen von den uns bereits bekannten Ringgebirgen des Tycho und des Copernikus aus. Auf der Pariser Mondaufnahme, wie sie die Rückseite der Tafel bei S. 45 zeigt, sind sie deutlich zu erkennen, während sie auf der Vorderseite gegebenen, die in einem jüngeren Mondalter hergestellt wurde, beim Tycho kaum angedeutet sind. Die Vergleichung zeigt die Veränderung des Aussehens der beleuchteten Mondpartien während der zunehmenden Sonnenhöhe. Das System um Tycho erstreckt sich über den vierten Teil der gesamten sichtbaren Mondoberfläche, und einige der Strahlen haben eine Breite von mehr als 20 km. Sie gehen alle ohne Rücksicht auf Erhebungsunterschiede über Berge, über ganze Ringgebirge und anderseits über die Mare-Ebenen hin, in absolut geradliniger Richtung, bilden aber zwischen sich oft Verästelungen oder Brücken, wie es namentlich beim Strahlensystem des Copernikus hervortritt. Auch durchkreuzen sich gelegentlich die von verschiedenen Systemen herkommenden Strahlen, ohne sich zu beeinflussen.

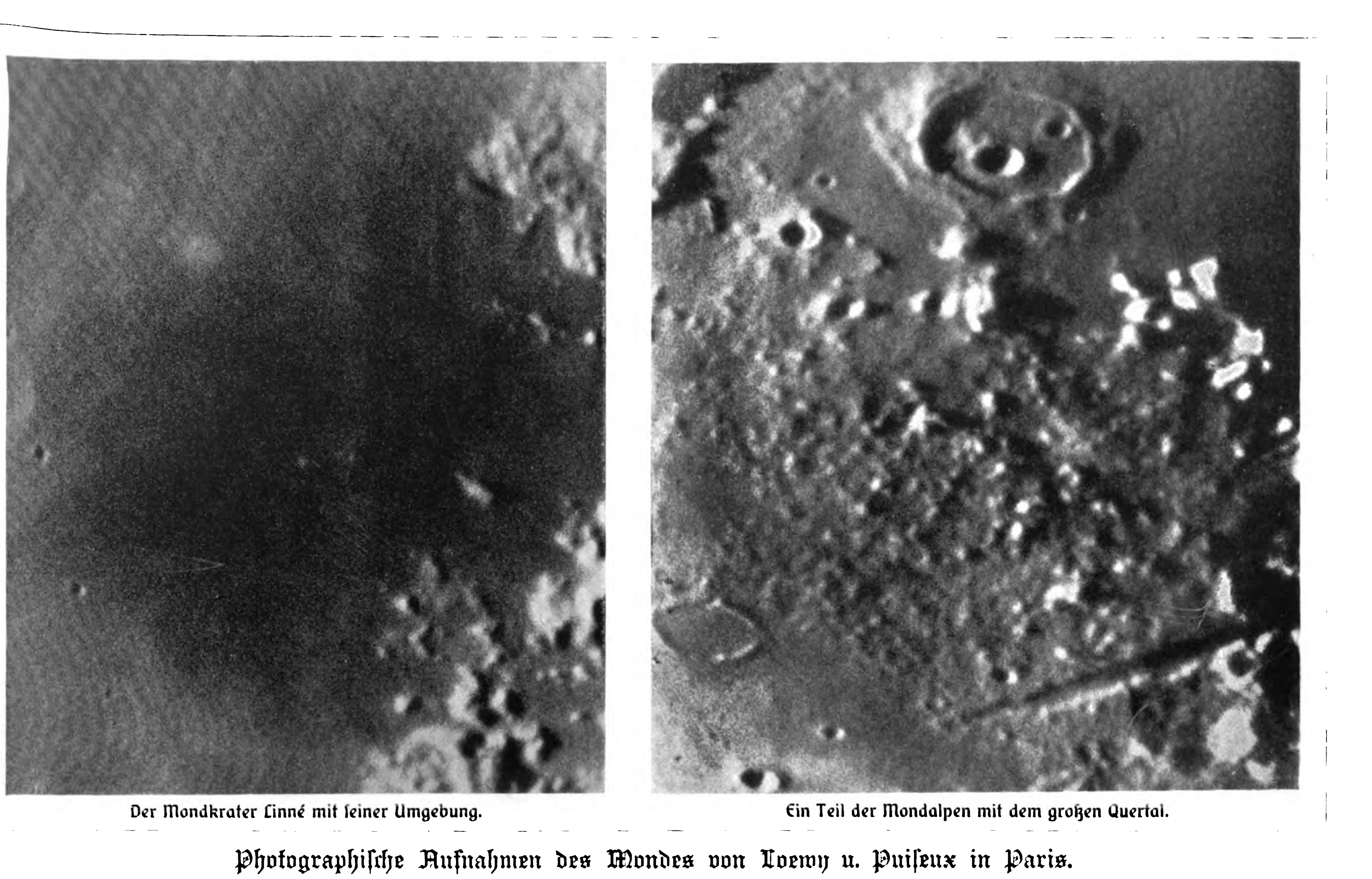
Die Art der Anordnung der Strahlen um ihren Mittelpunkt kann man treffend mit den Sprüngen in einer Glaskugel vergleichen, die durch Druck gesprengt wurde. Nasmyth und Carpenter haben die hier gleichzeitig mit dem von Strahlensystemen durchzogenen Vollmond abgebildete (s. die Abbildung auf Seite 92) zersprungene Glaskugel erzeugt.

Sie füllten sie mit Wasser, verschlossen sie dann hermetisch und tauchten sie in ein warmes Bad. Da das eingeschlossene Wasser sich stärker als die Wandung des Ballons ausdehnt, preßt es gegen die letztere und zersprengt die Kugel von dem Punkte aus, wo sie den geringsten Widerstand entgegenzusetzen hat, längs einer großen Zahl divergierender Risse, durch die das Wasser nachdringt. Solche Sprünge bringen scharfe Kanten, auf dem Mond also Rillen, hervor; die Strahlen zeigen aber, wie schon erwähnt, niemals auch nur die geringste Reliefverschiedenheit der Oberfläche; sie werden ausschließlich durch eine hellere Färbung des Terrains hervorgebracht: die einstmals entstandenen breiten Risse sind also durch nachströmende geschmolzene Materie sofort wieder ausgefüllt worden. Strahlensysteme dieser Art zählte Mädler nur sieben auf dem Monde, während Schmidt darauf hinweist, daß man gewisse umglänzte Krater und schließlich auch vereinzelte Lichtpunkte auf der Mondoberfläche ebenfalls zu den Strahlensystemen als mindestens verwandte Erscheinungen zu zählen habe, wodurch sich ihre Zahl auf etwa hundert erhöht. Die Ringgebirge, von denen die großen Strahlensysteme ausgehen, gehören an sich schon zu den hellsten Punkten der Mondoberfläche; die „umglänzten“ Krater aber bilden insofern eine Übergangsform, als man unter sehr günstigen Umständen bemerkt, daß ihre Aureolen sich in sehr feine Lichtlinien auflösen, also gewissermaßen auch Strahlensysteme sind, deren einzelne Elemente nur infolge der Mangelhaftigkeit der optischen Brücke, die uns mit dem Monde verbindet (zu schwache Vergrößerung, Unruhe der Luft), in einen allgemeinen Lichtschein zusammenfließen. Analog schließt dann weiter Schmidt, daß auch die vereinzelten Lichtflecke, die sich nicht in solche vom Mittelpunkt ausgehende Strahlen auflösen lassen, doch in dieselbe Kategorie von Erscheinungen gehören.



Vollmond mit Strahlen. Künstlich gesprengte Glaskugel.
Nach Nasmyth und Carpenter. Vgl. Text, S. 91.

Loewy und Puiseux sind neuerdings zu der alten Ansicht zurückgekehrt, diese Strahlensysteme seien Gebiete, auf denen Auswürfe weißer Aschen aus den Mondvulkanen, vom Winde weithin über die Oberfläche des Weltkörpers getragen, niedergefallen seien. Diese Ansicht kann indes kaum aufrecht erhalten werden. Es wird dabei vorausgesetzt, daß während jener Ausbrüche der Mond noch von einer Atmosphäre umgeben war, in der heftige Winde bis über den fünften Teil des ganzen Mondumfanges völlig geradlinig hingefegt haben müßten. Es werden also wilde Bewegungen der Mondatmosphäre vorausgesetzt, die nacheinander alle Richtungen annehmen konnten und doch nicht imstande waren, die einmal abgelagerte Asche nachträglich wieder über die Oberfläche zu verteilen. Nach dem großen Ausbruch des Vesuv vom April 1906, den wir Gelegenheit hatten, auch in seinen



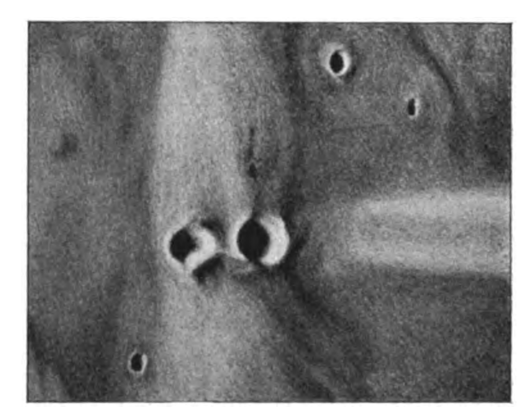
Der Mondkrater Linné mit seiner Umgebung.

Ein Teil der Mondalpen mit dem großen Quertal.

Photographische Aufnahmen des Mondes von Loewy u. Puiseux in Paris.

Folgeerscheinungen genau zu beobachten, war von der in ungewöhnlichen Mengen ausgeworfenen Asche auf Capri schon nach vierzehn Tagen nichts mehr zu entdecken. Freilich in den meterhoch von Asche und Lapilli bedeckten Gebieten im Norden des Vulkans, die noch monatelang nach der Katastrophe Schneelandschaften völlig glichen, wird die Asche noch jahrelang sich bemerkbar machen. Will man aber annehmen, daß von jenen Mondstürmen mehrere Kilometer breite und Hunderte von Kilometern lange Gebiete meterhoch mit Asche bedeckt werden konnten? Wir hätten auf der Erde kein Vergleichsobjekt für solche Tragkraft des Windes, während doch sonst alles dafür spricht, daß weder Luft noch Wasser jemals eine große Rolle auf unserem Trabanten gespielt haben.

Freilich bieten die Strahlensysteme noch manche Seltsamkeiten, die auch mit der Ansicht der zersprengten Oberfläche kaum in Einklang zu bringen ist. Man sehe sich das unten abgebildete Ringgebirge Messier an, das sich im Mare Foecunditatis als sehr auffälliges Objekt befindet, und auch auf unserer Pariser Mondaufnahme (Vorderseite der Tafel bei S. 45), wenn auch etwas undeutlich, abgebildet ist. Es sind zwei dicht nebeneinanderstehende, fast gleiche Ringwälle, die bei hohem Sonnenstande stark leuchten. Vom östlicheren Ringwall gehen zwei lange, breite Strahlen aus, die selbst jedes Fernrohr von nur mittlerer Kraft sehr deutlich getrennt zeigt. Sie machen geradezu den Eindruck zweier von einem Scheinwerfer ausgehenden Strahlenbündel. Nach keiner anderen Richtung sieht man auch nur eine Spur eines Strahlensystems. Durch ein Zerplatzen könnte diese Konfiguration kaum erklärt werden, und für diese Einzelerscheinung wäre eher noch an Aschenregen zu denken, unter der Voraussetzung, daß die beiden Krater gleichzeitig nur einen einzigen Ausbruch gehabt hätten, dem diese beiden parallelen Streifen ihren Ursprung danken würden, wenn nicht eben die vorhin vorgetragenen schweren Bedenken gegen diese Hypothese der Aschenregen überhaupt vorlägen, die für den Mond eine uns aus irdischen Erfahrungen ganz unverständliche Meteorologie voraussetzt. Würden die zahlreichen kleinen „umstrahlten Krater" ihre Aureole solchen Aschenregen verdanken, so müßte man gerade für sie eine ungewöhnlich lange eruptive Tätigkeit voraussetzen, die Gelegenheit gab, daß die Aschenregen nach allen Richtungen sich verteilen konnten.



Das Ringgebirge Messier mit dem doppelten Strahl. Nach H. J. Klein, Handbuch der Allgemeinen Himmelsbeschreibung.

Einer der interessantesten der obengenannten Lichtflecke ist der kleine Krater Linné, der im Mare Serenitatis nahe an dessen Einmündung in das Mare Imbrium am Nordfuße der Alpen liegt. Wir geben ihn mit seiner Umgebung nach der von Weinek vergrößerten Aufnahme von Loewy und Puiseux wieder (s. die beigeheftete Tafel, linke Abbildung). Es ist die ausgedehnte, verwaschen-hellere Stelle gegen die linke obere Ecke des Bildes hin. Auch auf unseren beiden Pariser Mondaufnahmen der Tafel bei S. 45 ist er deutlich zu erkennen. Schmidt schildert ihn als eine weiße Decke, in deren Mitte bei sehr schrägem Sonnenstand in sehr kräftigen Fernrohren ein äußerst feines schwarzes Pünktchen zu bemerken sei, das übrigens auch bei anderen kleineren Kratern vorkommt. Es scheint also hier,

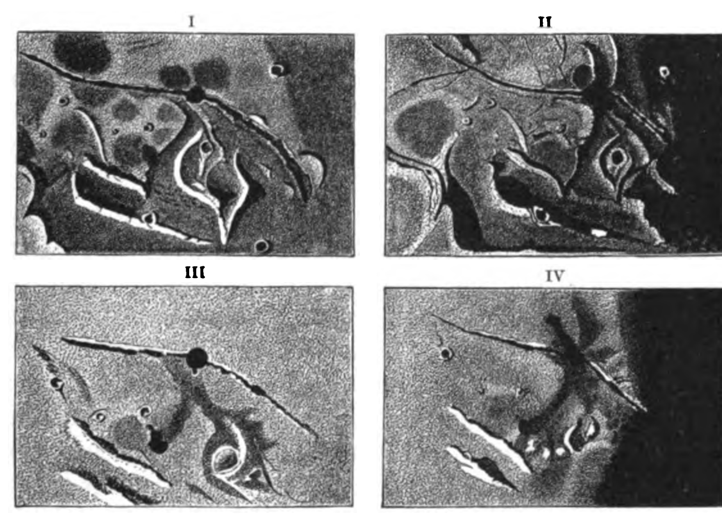
als hätten wir das Bild eines irdischen Vulkanes vor uns: der feine schwarze Punkt wäre die Auswurfsöffnung, die helle Umgebung eine Lavaüberflutung. Das Seltsamste aber ist im vorliegenden Falle, daß der Krater Linné zur Zeit, als Lohrmann und Mädler ihre Mondkarten entwarfen, zweifellos ein ganz anderes Aussehen hatte als gegenwärtig. Auch Schmidt hat ihn bis 1843 noch als gewöhnlichen Krater von etwa 10 km Durchmesser und 340 m Tiefe gesehen.

Diese Form des kleinen Kraters würde zwar nicht mit so großer Bestimmtheit zu verbürgen gewesen sein, da bei der kaum zu bewältigenden Fülle von topographischen Details, die zu verzeichnen waren, wohl einmal ein Irrtum untergelaufen sein konnte, wenn nicht gerade dieses Objekt von den beiden erstgenannten Mondforschern als sogenannter Fixpunkt erster Ordnung für ihre Ausmessungen benutzt worden wäre, also sehr häufig beobachtet werden mußte. Das geschah damals oft zu Zeiten, wo der Krater nahe an der Lichtgrenze noch lange Schatten warf, was heute überhaupt nicht mehr geschieht, so daß er in dem betreffenden Mondalter entweder gar nicht oder doch nur so schwer zu sehen ist, daß er unmöglich als Ausgangspunkt für exakte Messungen gewählt werden könnte. Seine Eigenschaft als Lichtfleck zeigt er erst wie alle ähnlichen Objekte bei hoher Beleuchtung. Nach der Überzeugung von Schmidt muß deshalb hier um die Mitte des vorigen Jahrhunderts ein Ausbruch stattgefunden haben, der die Kraterhöhlung mit heller Materie ausfüllte und zugleich, über die Kraterränder strömend, die äußeren Abdachungen nivellierte, so daß das Ganze nun fast gar keinen Schatten mehr wirft. Es kämen also hier zu der äußeren Ähnlichkeit mit einem Vulkan sogar noch die Spuren eines in letzter Zeit stattgehabten Ausbruches. In neuerer Zeit hat man an ihm auch regelmäßige, mit dem Mondalter fortschreitende Veränderungen wahrgenommen, auf die Pickering zuerst aufmerksam machte, und die dann durch Messungen, die Barnard am großen Refraktor des Yerkes-Observatoriums ausführte, bestätigt wurden. Der Lichtfleck hat danach seine größte Ausdehnung (wenngleich er am schwächsten dabei leuchtet) gleich nach seinem Wiedererscheinen, etwa am 7. Tage des Mondalters. Nach einer Woche ist er nur noch halb so groß (3,3″ gegen 6,6″) und scheint dann wieder zuzunehmen. Am 19. Tage des Mondalters verschwindet die Gegend wieder für uns. Im Inneren des Lichtfleckes sah Barnard selbst mit jenem mächtigsten Fernrohr nur mit Mühe ein kleines, ziemlich tiefes Loch. Der eigentliche Krater hat einen Durchmesser von 1,1 km, der dann erst von dem mindestens fünfmal größeren Lichtflecke umgeben ist. Man könnte diese regelmäßige Veränderung des letzteren vielleicht auf eine Art von Reifbildung zurückführen, die sich in der sehr kalten Mondnacht vollzieht.

Der eben erörterte Fall des kleinen Kraters Linné regt allgemeiner die Frage an, ob die topographische Ausgestaltung des Mondes als etwas Fertiges vor uns stehe, oder ob seine Oberfläche, wie die der Erde, noch beständigen Umwandlungen unterworfen sei. Dem Augenscheine nach sollten wir wohl annehmen, daß dieser Himmelskörper sich in fast vollständiger Starrheit befindet. Alle Einzelheiten, mit denen die uns bekannte Karte des Mondes in viel gehäufterer, wilderer Weise angefüllt ist als die der Erde, bleiben, soviel wir unterscheiden können, ganz unveränderlich, wenn man von wenigen sehr unbedeutenden, vielfach auch noch angezweifelten Wahrnehmungen absieht, von denen die oben angeführte, sich auf Linné beziehende, die auffälligste ist. Einige ähnliche Fälle mögen aber noch aufgezählt werden. In der schönen Wallebene des Posidonius (178), die am Nordwestrande des Mare Serenitatis das Taunusgebirge abschließt, erhebt sich nahezu

inmitten des Zirkus ein kleiner Krater, der unter gewöhnlichen Umständen als deutliche Grube erscheint, d. h. in der Mitte einen Schatten wirft. Dieser Schatten war, wie Schröter und später auch Schmidt bemerkten, zu gewissen Zeiten verschwunden, was nur dadurch erklärlich wird, daß damals das Innere des Kraters mit Materie ausgefüllt war. Danach scheint es also, daß irgendeine flüssige Masse in diesem Krater zuweilen aufsteigt, um dann wieder auf ihr gewöhnliches Niveau zurückzusinken.

Ein anderes Beispiel ist der am 19. Mai 1877 von Hermann J. Klein entdeckte neue Krater in der Nähe des Hyginus (158; s. die untenstehende Abbildung). Obgleich diese in der Mitte der sichtbaren Mondscheibe befindliche Gegend von allen Mondforschern Hunderte von Malen beobachtet und auf das sorgfältigste gezeichnet worden ist, findet sich doch auf keiner dieser Zeichnungen bis 1877 eine Spur jenes Kraters, während er seitdem selbst für schwächere optische Mittel unter bestimmten Beleuchtungsverhältnissen leicht zu sehen ist. Ebenso verhält es sich mit einer ganz in der Nähe dieses neuen Kraters sichtbaren Talsenkung, die früher nicht wahrgenommen wurde. Weiter sei noch angeführt, daß Weinek auf einen kleinen Krater bei Billy und Hansteen (93 und 94) aufmerksam machte, den er am 14. Oktober 1891 zuerst sah, und der früher nicht vorhanden gewesen zu sein scheint. Eine sehr interessante Wahrnehmung machte am 31. Juli 1904 W. Pickering in der Wallebene des Plato, der uns wegen eigenartiger Veränderungen auch später noch beschäftigen wird. Der genannte Forscher verfolgt dieses schöne Gebilde schon seit langer Zeit mit besonderer Aufmerksamkeit und hatte in ihm schon 1892 bereits 42 sehr kleine Kraterspitzen aufgezählt. An jenem Tage sah er nun einen solchen von etwa 4 km Durchmesser, der sich nach seinen Beobachtungen wenige Tage vorher dort sicher noch nicht befunden hatte. Das Objekt erschien zuerst in Nebel gehüllt, dann sah man einen weißen Streifen sich von ihm gegen Norden hin ausbreiten. In den folgenden Tagen wurde die elliptische dunkle Kratergestalt immer deutlicher, bis sich das Objekt am 22. August auf 5 km vergrößert hatte. Die weiße Hülle verschwand dabei allmählich. Sollte man hier nicht wirklich das Hervorbrechen eines neuen Kraters in seinen einzelnen Phasen verfolgt haben, der sich zuerst für uns in eine Dampfwolke hüllte? Ganz unzweifelhaft würde der vulkanische Charakter solcher Erscheinungen festzustellen sein, wenn es einmal mit Sicherheit gelänge, sie bis in die Nachtzeit für diese Gegend zu verfolgen und dann einen Feuerschein zu bemerken. Man glaubte, solche leuchtenden Punkte auf der Nachtseite des Mondes früher öfters gesehen zu haben, und von



Kleins neuer Krater Hyginus N. Nach Zeichnungen von Nelson.

keinem Geringeren als Herschel rühren einige dieser Wahrnehmungen her. Die meisten derselben deuten auf die Gegend des Aristarch hin. Aber seit 1821 ist hier nichts Verdächtiges wieder gesehen worden. Es wäre den Mondbeobachtern, auch Amateuren, anzuraten, häufiger die dunkle Seite des Mondes im Fernrohr anzusehen.

Wenn Zweifel an der Beweiskraft der vorliegenden Daten für den Schluß auf eine wirklich stattgehabte Veränderung auf dem Mond bei Kennern übrigblieben, so ist das in der enormen Schwierigkeit begründet, die solchen Forschungen heute noch entgegenstehen. Man sehe in dieser Hinsicht die auf Seite 71 gegebenen Abbildungen des Ringgebirges Arzachel (86) an, die nach Weinekschen Vergrößerungen von Photographien der Lick-Sternwarte reproduziert wurden. Die erste wurde am 15. August 1888, die andere am 27. desselben Monats aufgenommen. Wenn man auch sofort erkennen wird, daß es sich um ein und dasselbe Objekt handelt, was übrigens bei anderen Objekten nicht immer zutrifft, so ist doch durch die veränderte Beleuchtung die Form fast aller Details scheinbar so sehr verwandelt worden, daß man sicher aus den beiden vorliegenden Aufnahmen allein schon auf wesentliche Veränderungen der Oberflächengestalt dieser Gegend schließen würde, falls man auch sonst gewöhnt wäre, solche Veränderungen auf dem Monde wahrzunehmen. Wir wollen uns hier nicht weiter auf Einzelheiten einlassen. Es sei nur auf den Bergrücken in der Mitte des Ringgebirges hingewiesen, der in der zweiten Aufnahme gegen die erste wesentlich verkürzt erscheint. Von dieser störenden Verschiedenheit der Beleuchtung kann man sich nicht einmal dadurch befreien, daß man dieselbe Gegend wiederholt genau bei gleichen Mondaltern beobachtet, denn inzwischen verändert auch das scheinbare und wirkliche Schwanken der Mondkugel, die Libration, die Lage seiner Oberfläche zu der Sonne und bringt dadurch selbst bei gleicher Sonnenhöhe eine andere Beleuchtung wegen der verschiedenen Orientierung nach den Himmelsgegenden hervor. Diese Verschiebung können wir sehr deutlich auf den beiden letztbetrachteten Aufnahmen erkennen; sie sind zwar genau nach den Himmelsrichtungen orientiert, aber wir sehen doch ohne weiteres, daß die zweite Aufnahme die ganze Gegend nach links verschoben zeigt. Erst eine sehr große Reihe von Mondaufnahmen, die von der persönlichen Auffassung des Beobachters unabhängig und während der verschiedensten Beleuchtungsverhältnisse wiederholt worden sind, wird nach einer geraumen Reihe von Jahrzehnten uns bessere Kenntnisse darüber verschaffen können, wie die Kräfte der Natur auch heute noch an der Ausgestaltung der Mondoberfläche weiterarbeiten. Wir sehen auch hier wieder, wie jung die älteste aller Wissenschaften noch ist, da sie sich mit Vorgängen in jenen Regionen befaßt, für die ein Menschenalter zum Augenblick wird.

An und für sich kann nicht bezweifelt werden, daß beständige Veränderungen auf dem Monde vor sich gehen müssen, wenn anders die allgemeinsten Prinzipien der Natur dort wie auf der Erde gelten. Das aber ist es ja, was wir erst aus den Erscheinungen des Himmels herauslesen und beweisen wollen; wir dürfen es also nicht zur Erklärung von Tatsachen voraussetzen. Da jedoch die Erde, die wir soeben erst auf der vom Fernrohr erbauten optischen Brücke zu verlassen beginnen, als Ausgangs- und Vergleichspunkt für alle unsere Betrachtungen in den Himmelsräumen dienen muß, wird die Bemerkung nicht überflüssig sein, daß alle die Veränderungen, welche die Oberfläche unseres Planeten innerhalb der Zeit erlitten hat, seit der wir den Mond daraufhin näher zu prüfen imstande sind, von jenem Weltkörper aus gesehen sicher nicht auffälliger hervorgetreten wären und ebenso leicht

hätten übersehen werden können, wie es für uns mit dem Monde der Fall ist. Die Annahme, die Kräfte der Natur arbeiteten an der Ausgestaltung der Mondoberfläche noch ebenso rege wie an der der Erde, würde durch die Beobachtung keinen Widerspruch erfahren, soweit sich diese auf die Topographie des Mondes beschränkt.

Freilich erkennen wir bald, daß das Element, dem heute die hauptsächlichste Rolle an der Bildung unserer irdischen Gebirgsformen und überhaupt an der Gestaltung der Erdrinde eingeräumt ist, das Wasser, auf dem Monde gegenwärtig zweifellos seine Rolle ausgespielt hat, wenn es überhaupt jemals einen wichtigen Anteil an der Entwickelung des Mondes hatte, wogegen der Augenschein spricht. Wir erwähnten schon, daß Andeutungen von Flußläufen oder Gebirgstäler nach der Art derjenigen, die bei uns vom strömenden Wasser ausgewühlt worden sind, dort kaum auftreten. Die äußerlich ähnlichen Gebilde (Pickering hat 35 Rillen als „Flußbetten" angesprochen) müssen in ihrer Entstehungsweise doch wahrscheinlich anders gedeutet werden. Auch sind die Gebirgsreihen nicht so angeordnet, daß man ihre Kämme als zwischen Runsen, Tobelbächen usw. stehen gebliebene, ausgesägte Zähne ansehen könnte, wie bei unseren Hochgebirgen. Anderseits spricht der Augenschein, der, soweit unsere vorliegenden Betrachtungen bis jetzt reichen, vorläufig allein Argumente für oder gegen eine Meinung aufbringen kann, nicht dagegen, daß die Tiefebenen, die wir Meere genannt haben, ehemals wirkliche Meere waren, deren letzte Ablagerungen nach unseren Begriffen nur unter der Einwirkung des Wassers so gleichmäßig horizontal stattfinden konnten. Die Bergadern, die sich aus den übrigens bei günstigen Umständen mit unzähligen Unebenheiten, Rauheiten bedeckten Mare-Ebenen erheben, waren dann ehemals hohe Gebirgszüge, die nun ganz in den abgelagerten Meeresschlamm eingebettet sind. Sehr häufig erkennt man auch ganz unzweifelhaft, daß Ringgebirge am Rande oder in den Mare-Ebenen von solchem Schlamm, oder was es sonst gewesen sein mag, teilweise überflutet wurden, so daß sie darin fast „ertranken". Ein sehr schönes Beispiel hierfür ist das am südöstlichen Rande des Mare Humorum gelegene Ringgebirge Doppelmayer (82). Es ist indes nicht ausgeschlossen, daß solche Überflutungen auch aus Magmen bestanden, also feuerflüssigen Ergüssen aus dem Mondinnern, oder daß wir es hier mit einer Art von vulkanischem Schlamm zu tun haben.

Alle dauernden Wirkungen der Wassertätigkeit beruhen bei uns auf der unaufhörlichen Zirkulation des beweglichen Elementes vom Meere hinauf zu den Wolken, von da zur Oberfläche der Erde und endlich durch die Flußläufe wieder zu den Meeresbecken zurück. Ohne Wolken, aus denen es herabregnet oder schneit, ist diese die Gebirge aus den flachen Oberflächenschichten ausmeißelnde Tätigkeit des Wassers gar nicht denkbar. Wolken aber gibt es auf dem Monde nicht. Sie müßten größere oder kleinere Gebiete seiner Oberfläche uns zeitweilig verhüllen, was nicht geschieht. Zu allen Zeiten, wenn nur unsere Atmosphäre nicht getrübt ist, erscheinen die Landschaften des Mondes mit so scharfen Linien umgrenzt, wie wir sie auf unserer Erde von einem ähnlichen kosmischen Standpunkte aus niemals sehen würden; es gibt auf dem Monde keine Halbschatten, wie sie bei uns durch das diffuse Licht unserer Dunsthülle, durch den blauleuchtenden Himmel erzeugt werden, der dort jedenfalls fehlen muß. Dagegen scheint es, als ob leichte Nebelschleier gewisse engere Gebiete der Mondoberfläche für unseren Anblick vorübergehend zu trüben imstande seien. Einige Mondforscher konnten ihnen sehr wohlbekannte Details zeitweilig nicht wahrnehmen, während schwierigere in der Nähe sehr deutlich sichtbar blieben; bald

darauf waren dann diese Gebiete, in denen man wegen des veränderten Anblickes zunächst auch wirkliche Veränderungen vermutet hatte, wieder wie früher zu sehen. Namentlich schienen solche Nebel gelegentlich über Rillen zu liegen.

Sehr eigentümliche und auf die fraglichen Wirkungen zu beziehende Erscheinungen zeigt auch das Ringgebirge des Plato (20) an der Nordspitze der Alpen. Man hat nämlich durch sorgfältige und lange fortgesetzte Beobachtungen festgestellt, daß die innere Fläche jenes Ringgebirges seine Färbung regelmäßig mit dem Sonnenstande über ihm ändert. Zunächst, wenn die Sonne eben erst die innere Fläche zu bescheinen beginnt, zeigt sich nichts Merkwürdiges; die graue Fläche wird immer heller. Später aber, sobald die Sonne mehr als 20 Grad Höhe erreicht hat, wird die Ebene, abweichend von der Regel, bis zum Vollmonde nicht noch weiter hell, sondern wieder dunkler, sogar bis über die dortige Mittagszeit hinaus, um endlich bei sinkender Sonne sich wieder aufzuhellen. Auf irgendwelcher optischen Täuschung kann dieses Phänomen unmöglich beruhen; es wäre jedoch erklärt, wenn man annehmen dürfte, daß die Wärme der Sonne geringe Reste von Feuchtigkeit, welche die wallumgrenzte Tiefebene birgt, zur Verdampfung bringt und so Nebel erzeugt, die sich über den Boden der Innenfläche lagern und erst von der mittäglichen Sonne langsam aufgelöst werden.

Besonders dunkle Flecke von recht großer Ausdehnung kommen auch sonst noch ohne irgendwelche Beziehung zur Reliefgestaltung auf der Mondoberfläche vor. Auch diese treten stets erst bei Vollmond am deutlichsten hervor und verblassen dann allmählich wieder. Sie stehen alle im Verdacht, ihre Gestalt zu verändern, aber man hat ihnen bisher noch nicht genügend anhaltende Beachtung geschenkt, um dies mit Sicherheit behaupten zu können. Pickering weist darauf hin, daß es keine Gesteinsart auf der Erde gäbe, die um so dunkler erschiene, je senkrechter die Sonnenstrahlen auf sie fallen. Die Erscheinung sei nur durch Feuchtigkeit zu erklären, die hier in das Erdreich sickere und es dadurch dunkler erscheinen lasse. Durch die Hitze der mittäglichen Sonnenbestrahlung werde diese Feuchtigkeit wieder verdampft, wodurch das Gestein dann heller werden muß.

Beweist somit die Beobachtung, daß Wasser in flüssiger oder Dampfform auf dem Monde doch jedenfalls nur in sehr geringen Mengen vorkommt, so ist damit keineswegs gesagt, daß es in dem dritten Aggregatzustande, dem festen, als Eis, dort nicht in größeren Mengen vorhanden sein könne. Sehr verdächtig erscheint zunächst in dieser Hinsicht dem irdischen Auge die Tatsache, daß viele Bergspitzen auf dem Monde, ganz wie bei uns die Häupter der Alpen, weißer sind als ihre tiefer liegende Umgebung; ja, einige derselben leuchten so stark, daß sie häufig mit ihrem Lichte selbst die tiefe Nacht des Mondes durchbrechen, wenn die Erde ihr Licht zu ihnen hinübersendet und uns der Mond in aschfarbenem Lichte erscheint. Im Fernrohre sieht man dann zuweilen einzelne Lichtpunkte, meistens dieselben, die sich auch bei Vollmond durch ihren starken Glanz auszeichnen, wie z. B. die Gegend von Aristarch und Herodot (13 und 14), so kräftig aus der umgebenden Dämmerung hervorleuchten, daß man seinerzeit versucht war, sie für die Feuerschlünde tätiger Vulkane zu halten. (Siehe auch S. 95.)

Ranyard bemerkt, es sei nach irdischen Begriffen die Annahme ein geologisches Unding, daß die Bergspitzen auf dem Mond aus einem anderen Material aufgebaut seien als die übrigen Teile der Oberfläche, daß sie etwa aus Marmor beständen, wenn man nicht Eis als dieses andere Material betrachten wolle. Freilich darf man dabei nicht vergessen,

daß die Ursache, weswegen bei uns die Berge vereist sind, auf dem luftarmen Monde jedenfalls in weit geringerem Maße wirken kann; wäre der Mond überhaupt von keiner Atmosphäre umgeben, so würde die Kälte des Weltraumes, die nahe beim absoluten Nullpunkt, —273°, liegen muß, alle Teile der Mondoberfläche, ohne einen Höhenunterschied zu machen, umlagern. Ist aber Eis überhaupt dort vorhanden, so muß auch mindestens zeitweilig eine Atmosphäre aus Wasserdampf existieren, in den sich bei der intensiven Sonnenbestrahlung das Eis verwandelt. Dann aber bildet dieser Wasserdampf einen Mantel, der wohl jene mit der Erhebung eintretende Temperaturabnahme erklären könnte. Auch die Tatsache, daß nicht nur die Bergspitzen, sondern auch die tieferen Kraterböden in der Regel in auffallend hellem Lichte strahlen, könnte auf die Anwesenheit von Eis hindeuten. Wenn überhaupt auf dem Monde jemals Flüssiges existiert hat, so muß es in diesen tiefsten Gebieten seiner Oberfläche sich angesammelt haben, und wenn es später zu Eis erstarrte, so mußte dieser Prozeß, abgesehen von der schützenden Wirkung einer etwaigen Lufthülle, in diesen tiefen Löchern zuerst beginnen, wo die wieder auflösende Wirkung der Sonnenstrahlung infolge der Beschattung während des größten Teiles des Mondtages am geringsten sein muß.

Zur Frage nach dem Vorhandensein von Eis auf dem Monde sind die Untersuchungen über die direkte Wärmestrahlung dieses nahen Weltkörpers von entscheidender Wichtigkeit. Nach dem Volksmunde strahlt ja der Mond direkt Kälte aus. Der Landmann glaubt, daß, wenn das Mondlicht in heller Maiennacht auf die jungen Keime seiner Saat fällt, es diese erfrieren mache. Es ist etwas Wahres daran, hängt freilich mit einer Kältestrahlung des Mondes nicht zusammen. Es wäre in der Tat kaum begreiflich, daß der Mond, der uns so viel von dem ihm zugesandten Sonnenlichte zurückgibt, alle ihm doch gleichzeitig mit zukommende Sonnenwärme verschlucken, bei sich behalten sollte. Der Mond sendet uns in Wirklichkeit etwas von der empfangenen Sonnenwärme wieder zurück, allerdings so geringe Mengen, daß sie nur mit den feinsten Meßwerkzeugen unserer modernen Physik nachgewiesen werden konnten. Als im 18. Jahrhundert Tschirnhausen einen gewaltigen Spiegel auf den Mond richtete, der im Sonnenlicht in 12 Minuten ein Stück Asbest zu Glas zusammenschmolz, rührte sich das Thermometer in dessen Brennpunkt überhaupt nicht. Später wiederholte Piazzi Smyth mit verfeinerten Instrumenten und, um die absorbierende Wirkung der irdischen Atmosphäre nach Kräften auszuschließen, auf der Spitze des Piks von Teneriffa diese Versuche und gelangte zu dem Ergebnis, daß der Mond noch dreimal weniger Wärme zu uns sende als eine Kerze aus 5 m Entfernung.

Seitdem es aber nach Erfindung des Bolometers gelungen ist, außerordentlich geringe Wärmemengen durch ihre Umwandlung in Elektrizität sehr deutlich wahrnehmbar zu machen, konnte man in jüngerer Zeit verhältnismäßig sehr genaue Messungen der Veränderungen dieser Wärmestrahlung in den verschiedenen Mondphasen machen, womit wir über die wahren Temperaturverhältnisse unseres Begleiters interessante Aufschlüsse erlangen. Diese Untersuchungen rühren von dem Amerikaner Frank Very her. Very fand, daß die Wärmestrahlung der verschiedenen Teile der Mondoberfläche zwischen derjenigen dunkeln Kupfers und eines sonnenbeschienenen Felsens liegt. Es ließ sich auch zeigen, daß die Strahlung der von der Sonne beschienenen Mondpartien von Stoffen herrührt, die sicher wärmer sind als Eis. Die Mondstrahlung verhält sich ganz anders als die einer Schneefläche, auch wenn diese durch Staub grau gefärbt wird, damit sie die „Albedo" des Mondes

(s. S. 70) erhält. Aus einer sorgfältigen, kritischen Zusammenstellung aller betreffenden Beobachtungsdaten konnte Very schließlich die folgende Tabelle der Temperaturschwankungen der Mondoberfläche im Laufe eines Mondtages entwerfen.

Höhe der Sonne über der Mondoberfläche	Temperatur in Zentigraden vormittags	Zuwachs	nachmittags	Abnahme
0°	−273	+227	−198	−165
10°	− 46	+ 65	− 33	− 78
20°	+ 19	+ 39	+ 45	− 47
30°	+ 58	+ 34	+ 92	− 35
40°	+ 92	+ 35	+127	− 24
50°	+127	+ 30	+151	− 16
60°	+157	+ 17	+167	− 10
70°	+174	+ 6	+177	− 3
80°	+180	+ 1	+180	− 1
90°	+181		+181	

Wir sehen aus dieser Tabelle, daß die Temperatur der Mondoberfläche zwischen Sonnenaufgang bis Mittag um nicht weniger als 450 Zentigrade schwankt, was wohl verständlich ist, wenn man bedenkt, daß die Sonne ohne den schützenden und ausgleichenden Mantel einer Atmosphäre auf das Mondgestein vom Aufgang bis Mittag sieben unserer Erdentage ununterbrochen herabbrennt, und daß die Sonne dann noch ebenso lange braucht, um über derselben Gegend wieder unterzugehen. Das alles kann man unmittelbar im Fernrohr sehen, und wir brauchen dazu noch keine der Betrachtungen über die gegenseitigen Stellungen und Bewegungen der Gestirne, die uns erst im zweiten Hauptteile dieses Werkes beschäftigen sollen. In der dann folgenden, vierzehn unserer Erdtage langen Mondnacht kann die Kälte des Weltraumes ungehindert wieder vordringen und führt die Temperatur des Oberflächengesteins rasch wieder auf den absoluten Nullpunkt zurück. Wir sehen ferner aus unserer Tabelle, wie die Temperatur des Mondbodens am Nachmittage eine höhere bleibt, als sie am Vormittage bei demselben Sonnenstande war, ganz wie wir es bei uns auch beobachten, aber der Unterschied ist auf dem Monde ganz beträchtlich größer. Er steigt bis auf mehr als 70° zwischen Sonnenaufgang und -Untergang. Der Mondboden hat während der langen Bestrahlung eben sehr viel Wärme aufgesogen, die er nun mit zurückstrahlt. Aus den angeführten Zahlen geht auch weiter hervor, daß kaum mehr als 24 Stunden nach Sonnenaufgang die Temperatur der Mondoberfläche schon über den Gefrierpunkt gestiegen ist und bis etwa ebensolange vor Sonnenuntergang bei positiven Wärmegraden bleibt. Etwa 12 Tage lang würde dort also die Eisschmelze dauern. Schon etwa 4 Tage nach Sonnenaufgang erreicht die Temperatur dort die Siedehitze und bleibt 8 Tage lang über derselben. Während dieser langen Zeit herrscht also auf unserem Trabanten mehr als Wüstentemperatur.

Wären demnach die weißen Stellen auf den Mondbergen Eis, so müßte es notwendig während dieser Zeit abschmelzen, die Bergspitzen müßten dunkler werden mit höherem Sonnenstande. In der Mondnacht könnten sie dann allenfalls durch Reifbildung ihre helle Farbe wieder annehmen. Gerade das Umgekehrte ist der Fall, mit Ausnahme jener dunkeln Stellen, von denen oben (S. 97) die Rede gewesen ist. Wir müssen zu dem Schlusse kommen, daß auf unserem Trabanten wohl ein Stoff vorhanden ist, der gelegentlich innerhalb der wechselnden Mondtemperaturen in geringem Maße schmelzen und wieder fest werden

kann, daß dieser Stoff aber nicht unser Wasser ist. Man könnte sich vielleicht denken, daß dieser Stoff breiartig sei, vergleichbar den Produkten unserer Schlammvulkane, und daß er es auch war, der den Boden der Mare-Ebenen überdeckt und teilweise die Kraterböden ausgefüllt hat. Fast überall ist dieser einstmalige Brei zu hartem hellen Fels ausgetrocknet, in den Maren von dunklerem Meteorstaub überdeckt, der auf den Gipfeln der Berge nicht haften konnte, und nur an wenigen Stellen mag bei hoher Temperatur, durch besondere Umstände noch begünstigt, der Brei wieder etwas flüssig oder doch von Feuchtigkeit durchtränkt werden, die seine Farbe ändert.

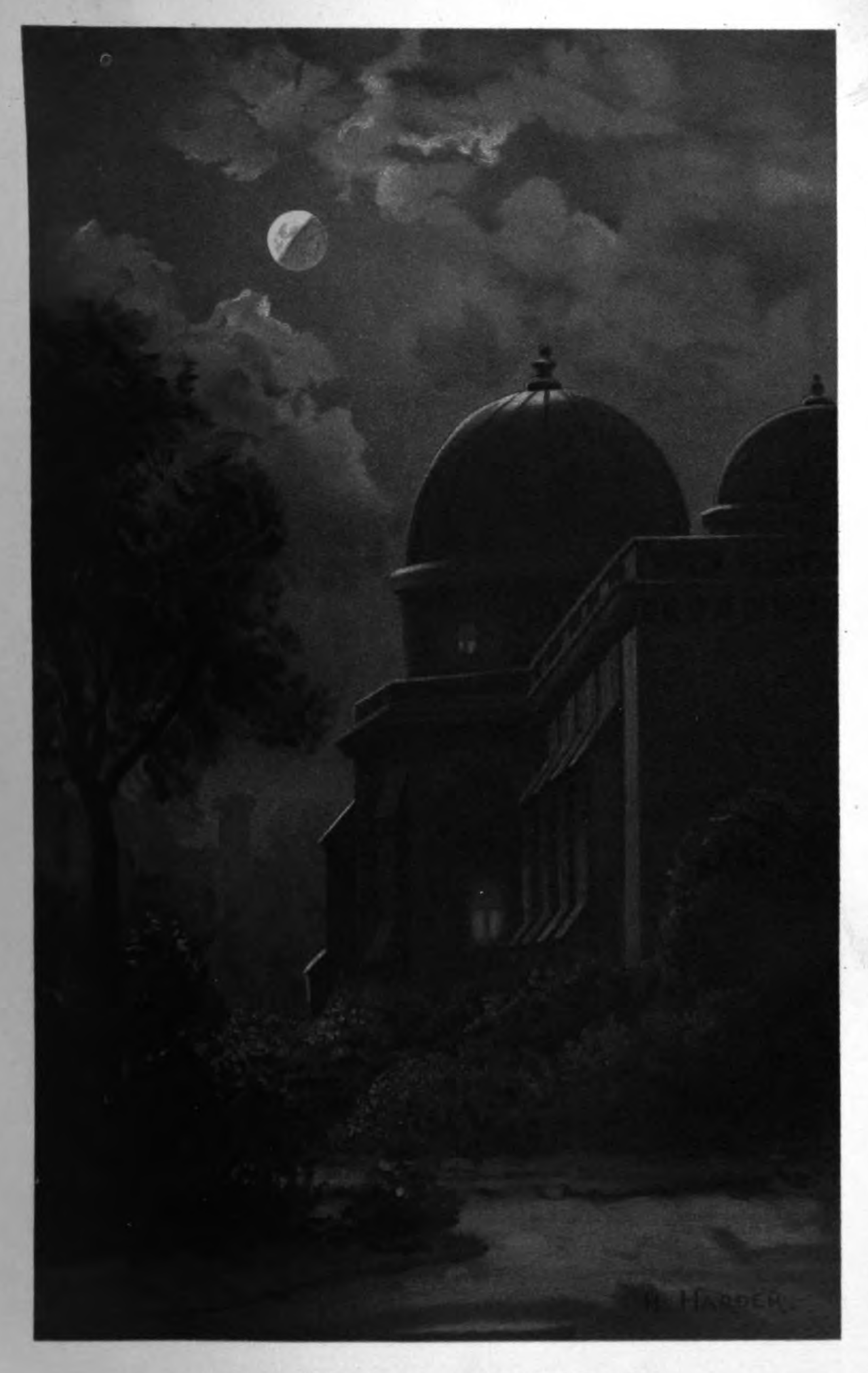
Auf der Erde macht sich die Anwesenheit des Wassers noch durch eine große Reihe von Erscheinungen geltend, die vom Monde aus sehr wohl wahrgenommen werden könnten, auf ihm aber von uns gleichwohl nicht gesehen werden: die vegetabilischen und animalischen Vorgänge. Die wechselnde Belaubung unserer Wälder, ihre schwankende Ausdehnung, das Aufwuchern des Präriegrases und sein Verdorren, die gemeinsamen Bewegungen großer Herden und eine große Anzahl anderer Veränderungen, welche die auf der Erde an das Vorhandensein von Wasser gebundene lebendige Natur hervorbringt, und die das Aussehen weiter Länderstrecken in kurzer Zeit völlig umzuwandeln vermögen. Auf dem Monde bemerkt man nichts dergleichen, wenn man von sehr schwachen grünlichen Färbungen absieht, die einige Beobachter kurz nach Sonnenaufgang über den betreffenden Gegenden bemerkt zu haben glauben, und die dann bald, ähnlich wie die früher erwähnten leichten Nebel, wieder verschwanden. Da es nach dem Obigen nicht ausgeschlossen ist, daß noch geringe Mengen von Luft und Wasser auf dem Monde vorhanden sind, so erscheint es auch nicht unmöglich, daß diese Färbungen in einer schwachen vegetabilischen Regung begründet sind; aber sie spielen jedenfalls nur eine sehr untergeordnete Rolle, wenn in diesem Falle nicht überhaupt Beobachtungsirrtümer vorliegen.

Als letzte und großartigste Äußerung des animalischen Lebens stellt sich auf der Erde der intelligente Mensch mit seinen Werken dar, die ihn an räumlicher Größe und Lebensdauer so wesentlich überragen. Viele dieser Werke, seine bebauten Felder, seine Städte und seine hochaufstrebenden Kunstwerke der Architektur, wären mit unseren optischen Hilfsmitteln auf dem Monde meist leicht als Werke geistiger Tätigkeit zu erkennen. Eine Stadt wie Berlin würde sich als dunkler Fleck auf der helleren Umgebung der märkischen Sandebene sehr deutlich abheben und etwa 5 Bogensekunden Durchmesser haben; Uranus und Neptun, die beiden äußersten Planeten unseres Systems, die sehr leicht in jedem Fernrohre von mittlerer Kraft als Scheiben zu erkennen sind, besitzen geringere Durchmesser. Der Mond zeigt keine Spur von in dieser Hinsicht verdächtigen Erscheinungen, wie sehr auch die Astronomen danach gesucht haben. Freilich der phantasiereiche Gruithuisen, der zu Anfang des 19. Jahrhunderts den Mond mit leidenschaftlichem Eifer durchforschte, um Spuren des Lebens auf ihm zu entdecken, glaubte eine Menge von Gebilden dort zu sehen, die er für gewaltige Festungswerke, große Landstraßen oder Kanäle und anderes mehr hielt; aber alle diese Dinge haben sich später unzweifelhaft als Naturgebilde herausgestellt. Der Mond erscheint uns als eine völlig tote, ausgestorbene Welt, wie es denn nach irdischen Begriffen auch nicht anders sein kann, da auf ihm die beiden notwendigsten Daseinsbedingungen des Lebens, Luft und Wasser, fehlen oder doch jedenfalls in so geringem Maße vorhanden sind, daß sie nur den allereinfachsten Lebensformen genügen könnten.

Wie wechselvoll belebt dagegen unsere Erde einem außerirdischen Beschauer erscheint, zeigt uns der Mond selbst als ein Spiegel. Wir gedachten schon früher des aschfarbenen Lichtes, das uns der von der Sonne nicht beleuchtete Teil unseres Begleiters zusendet, wenn seine Phase noch sehr klein ist. Da er dann in der Richtung der Sonne steht, muß für einen Beobachter auf der Mondoberfläche die der Sonne gegenüberstehende Erde voll beleuchtet erscheinen; sie sendet dann einen Teil des empfangenen Sonnenlichtes ebenso der Nachtseite des Mondes zu, wie dieser unsere Nächte beleuchtet, wenn er in entsprechender Lage für uns jenseits der Sonne steht. Dieses aschfarbene Licht wechselt seine Helligkeit und seine Farbe je nach der Beschaffenheit der irdischen Landschaften, die dem Monde jeweilig gegenüberstehen. Man unterscheidet in dieser Beziehung regelmäßige und gelegentliche Veränderungen. Regelmäßig ist das Erdenlicht auf dem Monde schwächer, wenn ihm unsere großen Meeresflächen gegenüberstehen, heller hingegen, wenn helle Landgebiete, wie die afrikanischen und asiatischen Wüsten, resp. die sibirischen Schneeflächen seiner Nachtseite zugewendet sind. Letzteres ist namentlich in den herbstlichen Morgenstunden für den Neumond der Fall (von einem europäischen Standpunkte gesehen), so daß uns um diese Zeit das aschfarbene Licht besonders auffällig wird. In den Abendstunden des Frühlings dagegen stehen hauptsächlich dunkle Erdstriche dem Monde gegenüber; man wird um diese Zeit den nicht direkt beleuchteten Teil neben der schmalen Sichel seltener recht deutlich erkennen. Die stärksten Veränderungen der Helligkeit des „sekundären" Mondlichtes oder des „Erdscheines" werden durch die wechselnde Entfernung des Mondes von uns hervorgebracht, der sich ja in einer Ellipse um die Erde bewegt.

Neben gelegentlichen, außergewöhnlichen Schwankungen der Helligkeit dieses Erdenlichtes hat man aber auch Veränderungen seiner Farbennuancen deutlich wahrgenommen. Er erschien oft vom gewöhnlich beobachteten Grau ins Bläuliche, zu anderen Zeiten dagegen ins Gelbliche hinüberspielend, und in seltenen Fällen glich die nicht direkt beleuchtete Mondscheibe fast ganz dem verfinsterten Monde, wie er auf der beigehefteten farbigen Tafel „Eine partielle Mondfinsternis" dargestellt ist. Um diese Zeit steht zwar die Nachtseite der Erde ihrem Trabanten gegenüber, aber die Sonne befindet sich zugleich genau hinter ihr und sendet ihre Strahlen durch die im Morgen- und Abendschein gerötete Atmosphäre zu ihm. Auch dieses rußig-rote Licht des verfinsterten Mondes tritt bei jedem dieser Phänomene verschieden stark auf, je nach dem Zustande der Atmosphäre, die ja bekanntermaßen sehr verschieden fähig sein kann, Dämmerungserscheinungen hervorzubringen.

Ein tieferes Eindringen in die eigentümliche Natur des Mondes verschieben wir bis zu einer Zeit, wo wir mehr Beziehungen der Welten untereinander kennen gelernt haben; denn erst in diesen tausendfältigen Wechselbeziehungen werden wir die Gestaltung, das Leben, die Aufgabe einer Einzelwelt recht verstehen lernen; für sich allein kann diese ebensowenig begriffen werden wie irgendein Wesen in unserer irdischen Natur. Alle Wechselwirkungen aber, die nicht der durch das Fernrohr verschärfte Augenschein offenbart, und die auf der wechselnden Stellung der betreffenden Weltkörper zueinander beruhen, im besonderen die Wirkungen der universellen Schwerkraft, stellen wir im zweiten Hauptteil unseres Buches dar. Hier müssen wir uns mit den allgemeinen Umrissen eines Weltbildes begnügen, das man, gleich einer ersten Annäherung, aus dem bloßen Anblick gewinnen kann.



EINE PARTIELLE MONDFINSTERNIS.

Originalbild von *H. Harder.*

2. Merkur.

Suchen wir nach einem jener leuchtenden Punkte am Himmelsgewölbe, deren Licht sich gleich dem des Mondes als reflektiertes Sonnenlicht herausstellt, so wird es dem Zufall anheimgegeben sein, welchem der Planeten wir zuerst begegnen. Wir wollen jedoch, um Ordnung in unsere Betrachtungen zu bringen, diese Schwestergestirne der Erde in derjenigen Reihenfolge näher untersuchen, in der sich ihre Abstände von der Sonne gruppieren, indem wir den Beweis dafür, daß sie sich in der Tat so ordnen, vorläufig noch schuldig bleiben.

Wir wenden uns also zunächst dem sonnennahen Merkur zu, auf den wir allerdings bei zufälliger Auswahl wahrscheinlich ganz zuletzt gestoßen wären, denn dieser Planet verbirgt sich so beharrlich in den Strahlen der Sonne, daß es nicht viele Fachastronomen gibt, die sich rühmen können, ihn jemals mit dem bloßen Auge gesehen zu haben. Dennoch strahlt er eine Lichtfülle aus, die zuzeiten der des hellsten Sternes an unserem nächtlichen Himmel, des Sirius, beinahe gleichkommt. Wegen seiner wechselnden Entfernung von der Sonne schwankt indes seine Helligkeit auch in seiner jeweilig günstigsten Lage, so daß sein Licht bis zu dem des Aldebaran, des ersten Sternes im Bilde des Stier, dem 17. Sterne in der Stufenfolge der Helligkeiten, herabsinken kann.

Gleich allen übrigen Planeten verändert Merkur fortwährend seine Stellung zu den übrigen Sternen und zur Sonne. Die aufmerksame Verfolgung zeigt, daß er jedesmal nach 116 Tagen ungefähr in dieselbe Lage zur Sonne, also auch zu unserem Horizonte, zurückkehrt. Man nennt diesen Zeitraum, ähnlich wie beim Monde, die synodische Umlaufszeit. Man kann also darauf rechnen, daß man Merkur 116 Tage, nachdem man ihn erblickt hat, in derselben Richtung wieder auffinden wird. Er ist dann während einer Woche etwa ½ Stunde nach Sonnenuntergang am westlichen Horizont zu erblicken, um ½ Stunde danach unterzugehen. Er befindet sich dann in seiner östlichen Elongation, d. h. so weit östlich von der Sonne, wie es seine Bahn erlaubt. Diese Abweichung schwankt zwischen 18 und 27 Grad. Alle 116 Tage ist Merkur somit während 8—10 Abenden je ½ Stunde lang mit bloßem Auge sichtbar, also im Jahre etwa 15 Stunden. Zu einer dieser seltenen Zeiten muß man über einen ganz freien Ausblick nach Westen verfügen, und der Himmel muß hier wolkenlos sein, um dieses flüchtigsten aller Planeten habhaft zu werden, den die alten Sternkundigen mit dem Quecksilber (lat. auch mercurius) verglichen. Bekommt man ihn aber zu solchen Zeiten wirklich einmal zufällig zu Gesichte, so ist man erstaunt, wie hell er dann aus der rötlichen Dämmerung des Horizontes hervorfunkelt. Wer die Lage der übrigen hellen Planeten nicht genau kennt, wird ihn sicher mit einem der anderen verwechseln und sich deshalb nicht bewußt werden, welche seltene Erscheinung vor ihm steht.

Zwischen je zwei östlichen Elongationen liegt zwar immer eine westliche, in der der Planet eine ähnlich günstige Stellung zum Horizont einnimmt und für das bloße Auge sichtbar wird. In dieser Lage aber geht er der Sonne auf ihrem täglichen Weg um den Himmel voraus; er geht also auch früher unter als die Sonne und kann folglich abends überhaupt nicht gesehen werden. Er zeigt sich dann nur vor Sonnenaufgang.

Der mit dem Fernrohr bewaffnete Astronom ist glücklicher daran; er kann die Sterne auch am Tage sehen. Anders wäre auch eine irgendwie erfolgreiche Beobachtung des

Merkur nicht anzustellen, denn zu den Zeiten, wo er mit dem bloßen Auge gesehen werden kann, befindet er sich, wie wir sahen, so nahe dem Horizonte, daß das Licht einen zu großen Weg durch die unruhigen Dünste der Atmosphäre zurückzulegen hat, um unter gewöhnlichen Bedingungen noch ein brauchbares Bild des Planeten zeichnen zu können. Wir würden im Fernrohre dann immer nur einen nach allen Seiten sich unstet verzerrenden Lichtfetzen sehen, der einer flackernden Flamme nicht unähnlich ist und jedenfalls niemals den Eindruck aufkommen lassen würde, als ständen wir vor einem permanenten Himmelskörper, der durch die Welträume eine ebenso festbezeichnete Straße zieht wie unser eigener Planet, die Erde.

Die mechanischen Vorrichtungen des Fernrohres aber erlauben, alle helleren Himmelskörper, deren Lage zu gewissen Fixpunkten bekannt ist, auch am blauen Tageshimmel aufzufinden. Merkur, der sich immer in der Nähe der Sonne aufhält, kann deshalb im Fernrohr ungefähr in allen Höhen über dem Horizont beobachtet werden, welche die Sonne für die betreffende geographische Breite erreicht. Immerhin bereitet Merkur der Beobachtung mehr Schwierigkeiten als alle anderen großen Planeten, da die Luft in der Nähe der Sonnenrichtung durch die ungleiche Erwärmung stets mehr oder weniger zittert und es deshalb zu einem ruhigen, klaren Bild im Fernrohre nur sehr selten kommen läßt.



Phasen und Größenverhältnisse des Merkur.

Trotzdem erkennen wir sofort, daß Merkur Phasen zeigt, die er, ganz wie der Mond, je nach seinem Stande zur Sonne ändert. Gleichzeitig aber ändert sich auch die Größe des Planeten dabei ganz beträchtlich. Die obenstehende Abbildung veranschaulicht die tatsächlichen Verhältnisse. Nachdem Merkur selbst für die besten Fernrohre einige Tage lang in den Strahlen der Sonne verschwunden war, tritt er zuerst westlich von der Sonne als ganz schmale große Sichel auf, die, wie der Mond im entsprechenden Fall, ihren ausgebogenen Rand der Sonne zukehrt: wir haben die zunehmende Phase vor uns. Während des Wachsens der Phase verkleinert sich der gesamte Durchmesser des Planeten von einer Hörnerspitze zur anderen beständig, selbst bis über das erste Merkurviertel hinaus, von dem ab sein Abstand von der Sonne wieder abnimmt. Er erscheint immer voller beleuchtet, bis er wieder in den Strahlen der Sonne zu verschwinden beginnt, worauf dann seine volle Scheibe sichtbar wird, er aber einen mehr als halb so kleinen Durchmesser hat als bei seiner vormaligen Nähe zur Sonne. Man pflegt bekanntlich die scheinbaren Durchmesser der Gestirne im Bogenmaß anzugeben: ein willkürliches Übereinkommen wie irgend ein anderes. Anstatt zu sagen, Merkur erscheint, wenn er als ganz schmale Sichel auftritt, 12″ groß und nimmt bis zu seiner vollen Beleuchtung bis zu 5″ ab (in extremen Fällen 13—4,5″), hätte man ebensogut angeben können, er habe sich durch die Beobachtung in dem einen Falle gerade so groß gezeigt, wie eine entsprechend beleuchtete Kugel von 1 cm Durchmesser aus der Entfernung von 410 m gesehen, im anderen Falle wie dieselbe Kugel aus nur 170 m Entfernung betrachtet.

Auch dem voreingenommensten Beobachter des Wechsels der Phasen und Größen dieses Planeten, die stets genau in denselben Stellungen zur Sonne wiederkehren, kann kein Zweifel darüber bleiben, daß dieses Spiel nur von einem an sich dunkeln Körper

erzeugt werden kann, der die Sonne umkreist und von ihr beleuchtet wird. Hätten sich die alexandrinischen Astronomen eines auch noch so unvollkommenen Fernrohres bedienen können, so wäre niemals ein ptolemäisches Weltsystem aufgestellt worden, nach dem alle Planeten um die Erde kreisen sollten, und höchstens wäre eine Möglichkeit für das tychonische System geblieben, das zwar die Planeten um die Sonne kreisen ließ, diese aber mit ihrem ganzen Gefolge um die Erde führte. Sehr auffällig wird namentlich die Stellung von Sonne, Erde und Merkur vor Augen geführt, wenn letzterer gelegentlich einmal genau zwischen die beiden anderen Gestirne tritt, so daß wir ihn vor der Sonnenscheibe vorüberziehen sehen: bei einem sogenannten Merkurdurchgange. (Siehe auch Kapitel 7 im zweiten Hauptteil.) Ein solches Ereignis fand zuletzt am 4. November 1901 statt. Es folgen dann Durchgänge am 14. November 1907 und am 7. November 1914. Man sieht dabei eine vollkommen schwarze Scheibe von etwa 12″ Durchmesser auf der Sonne.

Aus den oben gemachten Angaben über die Veränderung der scheinbaren Größe des Planeten können wir auch annäherungsweise etwas über die wirklichen Entfernungsverhältnisse der drei ins Auge gefaßten Himmelskörper erfahren. Gehen wir nämlich von der in der Folge noch zu beweisenden Voraussetzung aus, Erde und Merkur bewegten sich um die Sonne in Bahnen, die nicht wesentlich von Kreisen verschieden sind, und nennen wir die Entfernung der Erde von der Sonne r, die des Merkur von der letzteren d, so ist bei einer unteren Konjunktion, d. h. bei einem Durchgange des Merkur zwischen Erde und Sonne, die Entfernung des Planeten von uns gleich $r-d$, bei einer oberen Konjunktion dagegen, d. h. wenn er sich hinter der Sonne befindet, gleich $r+d$. Handelt es sich bloß um die Ermittelung von Verhältniszahlen, so können wir die beiden oben gegebenen 410 und 170 m, aus deren Abstand gesehen ein beliebiger Körper von 1 cm Durchmesser dieselbe Größe hat wie Merkur in den beiden extremen Stellungen zu uns, ohne weiteres zu einer einfachen Rechnung verwenden. Wir finden nämlich, daß, sofern man die Entfernung der Erde von der Sonne gleich 1 setzt, $d = \frac{410-170}{410+170} =$ ca. 0,4 ist. Wir haben also allein aus der veränderlichen Größe des Merkur ermittelt, daß die Entfernung dieses Planeten von dem großen Tagesgestirne nur etwa $^2/_5$ der unsrigen beträgt. Erfahren wir dann noch, daß diese letztere etwa gleich 150 Millionen km ist, so erhalten wir für Merkur eine Sonnenentfernung von 60 Millionen km. So runde Durchschnittszahlen werden uns vorläufig genügen, um uns für unsere Betrachtungen über die physischen Verhältnisse auf diesem und den anderen Mitgliedern unseres Planetensystems die nötigsten Anhaltspunkte zu gewähren. Genauere Zahlenangaben werden überall im zweiten Hauptteil dieses Werkes gemacht.

Aus den gegebenen Zahlen können wir auch leicht etwas über die wahre Größe des Merkur erfahren. Wir wissen, daß seine scheinbare Größe gleich der einer aus 170 m Entfernung gesehenen zentimetergroßen Scheibe ist, wenn der Planet sich in seiner unteren Konjunktion uns so nahe wie möglich befindet. Wir wissen ferner, daß er dann $150-60 = 90$ Millionen km von uns entfernt ist. Verwandeln wir also letztere Zahl in Meter und dividieren wir sie durch 170, so erhalten wir eine Zahl, die angibt, um wieviel die wirkliche Entfernung größer ist als die in obigem Beispiel angenommene, und offenbar zugleich, um wieviel die Ausdehnung des Körpers größer ist als 1 cm, der scheinbaren Größe in 170 m Entfernung. Das Resultat für den Durchmesser ist rund 5000 km. Nach Messungen,

die Barnard 1898 und 1900 am 40-Zöller der Yerkessternwarte ausführte, erschien Merkur in der mittleren Sonnenentfernung unter einem Winkel von 6,59", woraus sein wahrer Durchmesser zu 4780 km folgte. Da der Durchmesser der Erde etwa 12,700 km mißt, so ist der sonnennächste Planet nur etwas mehr als ⅓ so groß wie unsere Welt; seine Oberfläche ist etwa siebenmal kleiner, so daß Europa, Asien und Afrika zusammen auf Merkur nicht völlig Platz finden würden. Der Komet kommt etwa unserem Begleiter, dem Mond, an Ausdehnung gleich.

Daß man auf einem Scheibchen, das selbst bei dreihundertfacher Vergrößerung im Fernrohre bei günstigster Stellung nicht größer erscheint als etwa ein aus 1 m Entfernung gesehenes Fünfpfennigstück, nicht viele Einzelheiten zu entdecken vermag, ist begreiflich. Erschwerend tritt noch hinzu, daß uns der Planet, gerade wenn er uns am nächsten ist, seine Nachtseite zukehrt, auf der absolut nichts gesehen werden kann, und ferner, daß zu den Zeiten, in denen Merkur uns seine voll beleuchtete Seite zuwendet, er sich scheinbar so nahe bei der Sonne befindet, daß durch ihre Strahlenfülle die feinen Lichtschattierungen ganz überwuchert werden, durch die uns der schwingende Äther etwa einigen Aufschluß über die Einrichtung dieser so nahe dem Zentralfeuer kreisenden Welt geben könnte. So kommen die Lichtdepeschen von dorther in einem außerordentlich unleserlichen Zustande bis in unsere entziffernden Instrumente. Das Wenige, was herausgelesen werden konnte, ist folgendes.

Zunächst müssen wir einen Strich durch fast alle älteren, mit unvollkommenen Fernrohren angestellten Beobachtungen machen, die allerhand seltsame Erscheinungen am Merkur wahrzunehmen glaubten, wie z. B. einen ihn eng umgebenden Ring, der als Atmosphäre gedeutet wurde, und die Abstumpfung des südlichen Horns der Phase, die man durch hohe, unsere höchsten Bergriesen um mehr als das Doppelte überragenden Berge zu erklären suchte. Beide Erscheinungen sind in den besseren Fernrohren der Neuzeit nicht wieder gesehen worden. Allerdings stellte Schiaparelli fest, daß die südlicheren Partien des Planeten weniger Sonnenlicht zurückstrahlen als die nördlichen, wodurch in schwachen Fernrohren wohl ein Teil der fein auslaufenden südlichen Sichel ganz verschwinden konnte.

Merkur strahlt überhaupt im Vergleiche zu den anderen Planeten wenig Licht zurück; er verschluckt von den zu ihm gelangenden Strahlen der Sonne ungefähr ebensoviel wie der Mond, woraus Zöllner mit einiger Wahrscheinlichkeit schloß, daß dieser Planet gleich dem Monde von *keiner Atmosphäre* umgeben sei, da deren Wolken jedenfalls mehr Licht zurückwerfen müßten, als den Beobachtungstatsachen entspricht. Genaueren photometrischen Messungen von Müller in Potsdam zufolge, die während der verschiedenen Phasenbeleuchtung ausgeführt wurden, und die eine wertvolle Ergänzung durch eine von Jost ausgeführte Messung der Lichtmenge des Planeten erhalten, die er als fast volle Scheibe während der totalen Sonnenfinsternis vom 28. Mai 1900 ausstrahlte, sind alle Beleuchtungsverhältnisse des Merkur denen des atmosphärenlosen Mondes ungemein ähnlich. Jene Messung der Lichtmenge des Merkur bei der erwähnten Sonnenfinsternis ergab seine Größe zu — 2,8, d. h. er war um 3,8 Größenklassen heller als ein Normalstern. Eine genauere Definition dieser Wertbegriffe kann erst später im Fixsternkapitel gegeben werden.

Im *Merkurspektrum* konnte Vogel in Potsdam 28 Fraunhofersche Linien messen, die alle mit denen des hellen Himmelsgrundes übereinstimmen. Dieser wieder

zeigt dieselben Linien wie das Sonnenspektrum, nur vermehrt um gewisse sogenannte tellurische Linien, die in unserer Atmosphäre entstehen. Diese Linien oder Streifen zeigen sich naturgemäß in den Spektren aller Himmelskörper, da deren Licht immer zunächst unsere Lufthülle zu durchdringen hat, ehe es im Spektroskop zur Untersuchung gelangt. Da aber der Weg durch die Lufthülle ein um so kleinerer ist, je höher über dem Horizonte sich der beobachtete Himmelskörper befindet, so treten die tellurischen Streifen oder „atmosphärischen Banden" am Horizonte sehr stark auf, während sie im Zenit unter gewöhnlichen Umständen gar nicht mehr zu sehen sind. Das Spektrum des Merkur kann aber nur in solchen Höhen beobachtet werden (s. S. 103), in denen die tellurischen Linien stets vorhanden sind. Hätte nun Merkur eine Atmosphäre, die mit der unsrigen nahezu gleiche chemische Zusammensetzung besäße, so müßten die Banden dunkler werden, wenn man das Spektroskop etwa von dem zufällig in gleicher Höhe befindlichen Monde auf den Merkur richtete. Eine leise Andeutung einer solchen Verstärkung scheint in der Tat vorhanden zu sein. Mit Sicherheit kann aber nur durch das Spektroskop festgestellt werden, daß, wenn Merkur überhaupt eine merkliche Atmosphäre besitzt, ihre Zusammensetzung von der der unsrigen nicht wesentlich verschieden sein kann, weil sonst neue Absorptionsbanden im Merkurspektrum auftreten müßten.



Merkur, gezeichnet von Schiaparelli in Mailand.

Bereits vor einem Jahrhundert sah Schröter, und nach ihm andere Beobachter, Flecke und Streifen auf Merkur, die ihre Lage zueinander nicht zu ändern schienen und deshalb vermutlich der Oberfläche des Planeten angehören. Unsere obenstehende Abbildung gibt diese Details so wieder, wie sie das scharfe Auge Schiaparellis nach und nach gesehen hat. Die Karte ist 1890 veröffentlicht, aber seit 1881 bei andauernder Beobachtung des Planeten hergestellt worden. Dabei sah Schiaparelli mehr als 150mal mehr oder weniger deutlich Flecke auf der Planetenscheibe. Selbstverständlich sind auf der Zeichnung die Helligkeitsdifferenzen stark übertrieben, wie es bei den meisten astronomischen Zeichnungen geschehen muß. Würde man auch bezüglich der Lichtnuancen naturgetreue Bilder wiedergeben können, so vermöchte das ungeübte Auge des Lesers gar nichts oder beinahe nichts darauf zu sehen, wie es ihm am Fernrohre meist ergeht.

Irgendwelche Schlußfolgerungen an diese wenigen verschwommenen Linien über die Beschaffenheit jenes Planeten zu knüpfen, wäre sehr verfrüht. Nur über zwei Dinge lassen sich bei ausdauernder Beobachtung dieser verschwimmenden Details einige Wahrscheinlichkeitsschlüsse ziehen: über die Atmosphäre des Planeten und über seine etwaige Umschwungsgeschwindigkeit, falls er sich, wie die Erde, um seine Achse drehen sollte. Wenn nämlich die Flecke beständig sichtbar bleiben, so wird eine

Atmosphäre in unserem Sinne unwahrscheinlich, da sonst Wolken die Aussicht auf feste Bildungen der Oberfläche jedenfalls zeitweilig verhüllen müßten. Jedoch fehlt es nicht an Wahrnehmungen, die für das Vorhandensein einer Lufthülle sprechen. Schiaparelli sieht die Flecke am Rande der Planetenscheibe schwächer als in der Mitte, wo die Lichtstrahlen weniger von jener Dunsthülle zu durchdringen hätten; weiße Flecke, die vorübergehend sichtbar waren, schreibt der Mailänder Forscher Wolkenzügen zu. Ein anderer Beobachter, Comas Sola, der unter dem gleich dem Mailänder außerordentlich durchsichtigen Himmel Barcelonas sein ziemlich kleines Fernrohr um 1900 häufig dem Merkur zuwandte, bestätigt, daß die Flecke dieses Planeten unter Umständen ebenso deutlich zu sehen seien wie die des Mars. Dagegen sahen See mit dem 26-Zöller von Washington um 1900 und Barnard mit dem 40-Zöller bei Chicago zwischen 1898 und 1900 mit Sicherheit keine Flecke; nur einmal, am 31. August 1900, sah Barnard „vier dunkle Flecke, ähnlich den Flecken, die der Mond erkennen lassen würde, wenn er so weit entfernt wäre, daß er den nämlichen Winkeldurchmesser wie Merkur zeigte, und er durch den 40zölligen Refraktor beobachtet würde". Wir sehen, daß hier die Beobachter angesichts der besonders großen Schwierigkeiten, die Merkur bietet, über die wirkliche Existenz dieser Flecke noch nicht einig sind.

Ist demnach Merkur vielleicht hinsichtlich der Atmosphäre unserem Monde ähnlich, so ist er es wahrscheinlich noch in einer weiteren Beziehung. Die älteren Beobachter nahmen bereits wahr, daß die Flecke von einem Tage zum anderen immer wieder in derselben Lage zum Rande der Scheibe, beziehungsweise der Phasenform erschienen. Dabei ist aber zu bedenken, daß die Beobachtungen des Merkur mit den schwächeren und schlecht definierenden Fernrohren, die den älteren Beobachtern zu Gebote standen, während der nämlichen Sichtbarkeitsperiode immer nahezu um dieselbe Tageszeit stattfinden mußten, d. h. um die Dämmerungszeit; denn am Tage überflutet das Sonnenlicht alle Einzelheiten, während, je mehr diese Störung verschwindet, um so mehr wächst die aus der zu großen Horizontnähe des Gestirnes entstehende Störung. Zwischen beiden liegt nur eine kurze Zeitspanne, die mit einiger Aussicht auf Erfolg benutzt werden kann. Die Tatsache, daß zu dieser Zeit die Flecke des Merkur immer wieder den gleichen Anblick darboten, läßt ohne Voreingenommenheit zwei Deutungen zu. Die eine würde voraussetzen, daß Merkur sich nahezu ebenso schnell um seine Achse dreht wie unsere Erde; dann müßte offenbar immer nach vierundzwanzig Stunden die Lage der Oberflächenteile beider Himmelskörper zueinander dieselbe werden. Die zweite Möglichkeit aber ist die, daß Merkur sich in der Zwischenzeit *überhaupt nicht gedreht* hat. Es ist erkenntnistheoretisch höchst interessant, daß man bis vor kurzer Zeit an die Möglichkeit der zweiten Deutung gar nicht gedacht hatte und deshalb allseitig davon überzeugt war, die *Rotationsdauer* des Merkur, d. h. seine Tageslänge, stimme mit der der Erde ziemlich genau überein: eine Überzeugung, die durch die Wahrnehmung verstärkt wurde, daß auch die anderen Planeten sich in ähnlichen, teilweise sogar noch viel kürzeren Intervallen um sich selbst drehen. Erst Schiaparelli gelang es, den Merkur während einer und derselben Sichtbarkeitsperiode zu verschiedenen Tageszeiten auf seine Streifen hin genauer zu prüfen, wobei er, immer die Realität dieser Streifen selbst vorausgesetzt, zu der überraschenden Tatsache geführt wurde, daß der Planet auch dann noch stets dieselbe Zeichnung aufwies: er hatte sich also überhaupt nicht bewegt. Die Vergleichung aller hierauf bezüglichen Beobachtungen führte schließlich zu der Erkenntnis, daß *Merkur der Sonne*

beständig dieselbe Seite zukehrt, ebenso wie es der Mond unserer Erde gegenüber tut. Während jedoch vom Monde nur die eine Hälfte uns Erdenbewohnern unsichtbar bleibt, anderen Beobachtern im Weltgebäude dagegen nach und nach der Anblick der ganzen Oberfläche des Trabanten gewährt wird, muß die eine, der Sonne abgewandte Hälfte des Merkur ewig unsichtbar für alle Standpunkte bleiben, weil sie dauernd in Nacht gehüllt ist. Aber auch über diese Frage sind die Akten nicht geschlossen. Während Lowell für Schiaparellis Ansicht Beobachtungen ins Feld führt, erklärt sich Brenner in Lussin piccolo, der gleichfalls über ein vorzügliches Auge und einen vorzüglichen Himmel verfügt, entschieden dagegen, wie auch noch andere Beobachter, die eine deutliche Bewegung der Flecke innerhalb weniger Stunden bemerkt zu haben glauben. Halten wir hierneben, daß die Realität dieser Flecke überhaupt in Zweifel gezogen ist, so bleibt allerdings wenig für den Beweis eines Fehlens der Umdrehung des Merkur um sich selbst übrig.

Die eigentümlichen Verhältnisse einer Welt uns auszumalen, in der eine Hälfte beständig von den sengenden Strahlen der nahen Sonne beschienen wird, während die andere sie niemals sah, einer Welt also, die keinen Wechsel von Tag und Nacht kennt, müssen wir uns für eine umfassendere Betrachtung der Lebensverhältnisse auf den Weltkörpern überhaupt aufsparen.

---

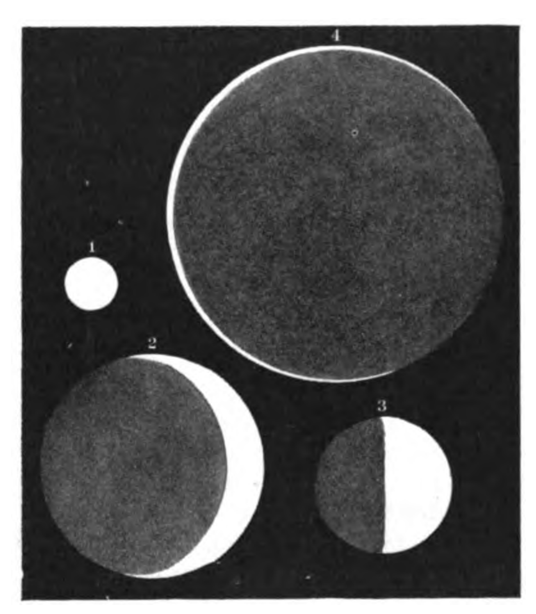
3. Venus.

Der schöne Morgen- oder Abendstern ist aller Welt bekannt, und die Völker aller Zeiten und Zonen haben ihn besungen. In der Tat gibt es unter den Schauspielen, die uns der Himmel dauernd bietet, wohl keins, das unser Auge so wundersam zu fesseln vermag, wie dieser in überirdischer Ruhe und Reinheit zu uns herniederstrahlende Funke Himmelslichtes. Nicht wie die Sonne unnahbar für unser bewunderndes Auge, nicht wie der Mond eine alltägliche Erscheinung, nicht wie einige der anderen Planeten sich unter die nächtliche Schar der übrigen Sterne mischend, bleibt die Schönheit dieses Sternes, den man der Venus weihte, immerdar überwältigend.

Venus ist zuzeiten der hellste aller Sterne am Firmament und kann gelegentlich sogar am hellen Tage mit dem bloßen Auge gesehen werden. Ihre Helligkeit ist jedoch starkem Wechsel unterworfen, der ebenso, wie wir es beim Merkur wahrnahmen, von ihrer wechselnden Stellung zur Sonne abhängt. Da die synodische Umlaufszeit der Venus gleich 583½ Tag ist, so kehrt auch die Entwickelung ihres höchsten Glanzes als Abendstern immer erst nach einem Jahr und ungefähr sieben Monaten wieder. Dieser Moment fällt aber nicht mit dem der größten scheinbaren Entfernung des Planeten von der Sonne zusammen. Dies war auch bei Merkur nicht der Fall; aber bei ihm wurde seiner schnellen Bewegung wegen diese Differenz nicht auffällig. Wir werden uns diese Verhältnisse am leichtesten klar machen, wenn wir Venus während eines ganzen synodischen Umlaufes mit dem Fernrohr verfolgen.

Sie zeigt dabei zunächst ganz denselben Phasenwechsel wie Merkur, von Voll-Venus, wenn sie jenseits der Sonne in oberer Konjunktion steht, bis zu Neu-Venus in der unteren Konjunktion. Als am 6. Februar 1906 Venus

in oberer Konjunktion war, maß ihre voll sichtbare Scheibe rund 10″. Indem sie sich nach Osten zu mehr und mehr von der Sonne entfernte, wuchs langsam der Durchmesser der Scheibe, während die Phase abnahm. Venus zeigte sich dann allmählich dem bloßen Auge als Abendstern, indem sie an Glanz beständig zunahm. Die scheinbare Entfernung von der Sonne vergrößerte sich weiter bis zum 20. September des genannten Jahres und hatte an diesem Tage etwa 46½ Grad erreicht. Die Phase entsprach dem ersten Viertel, und der Durchmesser betrug 26″, war also seit der oberen Konjunktion um das Zweieinhalbfache gewachsen. Während sich nun der Planet wieder der Sonne näherte, nahm er zwar eine immer schmälere Sichelgestalt an, aber der ganze Durchmesser der Sichel erweiterte sich dermaßen, daß die gesamte leuchtende Fläche doch noch größer wurde und erst am 26. Oktober ein Maximum erreichte; nun erst erschien Venus in ihrem größten Glanze. Ihr Licht strahlt in dieser Stellung etwa 60mal heller als das des Arktur, eines Fixsterns erster Größe. Der Durchmesser der Sichel betrug um diese Zeit 43″. Obgleich er immer noch schnell zunahm, wurde doch die Sichel bald allzu schmal, und der Planet näherte sich überdies zu sehr der Sonne, in deren Strahlen die äußerst feine halbkreisförmige Lichtlinie allmählich verschwand, als der Durchmesser der eingeschlossenen Scheibe etwa 66″ erreicht hatte. Die untere Konjunktion fand am 30. November statt. Jetzt wiederholte sich das geschilderte Spiel in umgekehrter Reihenfolge: Venus erschien im Westen der Sonne und entwickelte als Morgenstern ihren größten Glanz am 4. Januar 1907; ihre größte westliche Entfernung hatte sie, nun in der Gestalt des letzten Viertels, am 9. Februar und trat abermals in obere Konjunktion mit der Sonne am 15. September 1907. Die volle Scheibe hatte denselben Durchmesser von 10″ wie anderthalb Jahre vorher. Die Größenverhältnisse während dieser hervorgehobenen Momente des synodischen Umlaufes der Venus sind in obenstehender Abbildung wiedergegeben. Der letztere Umlauf umfaßte diesmal 587 Tage, also einige Tage mehr, als vorher für diese Größe angegeben wurde, die immer nur als ein Durchschnittswert aufzufassen ist. Es wird später zu erörtern sein, wie solche Ungleichheiten der Bewegung entstehen.



Phasen und Größenverhältnisse der Venus: 1) in oberer Konjunktion, 2) im größten Glanze, 3) im ersten Viertel, 4) kurz nach der unteren Konjunktion mit weit übergreifenden Hörnern; gezeichnet von Barnard 1890.

Aus den angeführten Erscheinungen ist ebenso wie beim Merkur zu folgern, daß Venus ein dunkler, von der Sonne beschienener und sie umkreisender, kugelförmiger Körper ist, daß ferner seine Entfernung von der Sonne rund $^5/_7$ unserer Entfernung von letzterer beträgt, was etwa 108 Millionen km ausmacht. Der Planet kann sich uns also bis auf 150—108=42 Millionen km

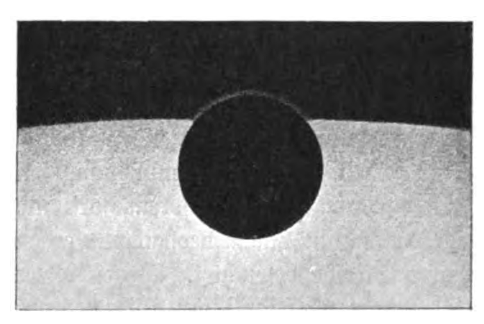
nähern und auf 150 + 108 = 258 Millionen km von der Erde entfernen. Sein Durchmesser ergibt sich nach Barnards Messungen (1900) zu 17,14″ in der mittleren Sonnenentfernung oder 12,400 km; die Weltkugel der Venus ist demnach fast genau so groß wie die unserer Erde. Es muß hier indes angeführt werden, daß auch diese Messungen der scheinbaren Größe des Durchmessers bei diesem Planeten sowohl als auch bei Merkur wegen der mehrfach erwähnten allgemeinen Beobachtungsschwierigkeiten großen Unsicherheiten unterliegen, weshalb verschiedene Beobachter auch sehr abweichende Werte dafür erhalten haben, die den wahren Durchmesser bis zu 400 km auf oder ab verschieden ergeben. Die hier angenommenen Werte entsprechen den neuesten und zugleich zuverlässigsten Messungen der Himmelskörper, wenn in diesem Werke genaue Angaben davon gemacht werden.

Die oben angegebene geringste Entfernung der Venus von uns übertrifft die des Mondes immer noch ungefähr um das Hundertfache; aber wir werden später sehen, daß, natürlich abgesehen vom Mond, nur noch ein sehr kleiner, erst kürzlich entdeckter permanenter Himmelskörper, Eros, jemals näher zu uns herantreten kann. Venus würde deshalb nach dem Monde der für unsere Beobachtung am günstigsten gestellte Himmelskörper sein, wenn nicht für ihre Beobachtung dieselben Schwierigkeiten auftreten würden wie beim Merkur: wenn sie uns am nächsten ist, wendet sie uns ihre Nachtseite zu, und je mehr ihre Scheibe sich beleuchtet, desto näher tritt sie der Sonne; sie muß dann am Tage beobachtet werden. In jenen bezüglich ihrer scheinbaren Lage zu unserem Horizonte günstigsten Stellungen, in denen sie noch bis in die Dämmerung hinein beobachtet werden kann, zeigt sie uns kaum die Hälfte ihrer scheinbaren Scheibe beleuchtet. Wegen dieser Beobachtungsschwierigkeiten ist uns die Natur dieses Nachbarplaneten kaum besser bekannt als die des Merkur. Es ist eine seltsam klingende Tatsache, daß der Schleier, in den sich die Geheimnisse des Himmels und der Natur überhaupt noch hüllen, nicht nur aus Dunkelheit gewoben sein muß, sondern daß sich viele dieser Dinge unserer Erkenntnis durch Einhüllung in undurchdringliche Helligkeit entziehen.

Auch die Albedo der Venus selbst ist verhältnismäßig sehr groß: sie strahlt, obgleich sie von der Sone weiter absteht als Merkur, doch bedeutend mehr Sonnenlicht zurück als dieser; sind einmal beide Planeten gleichzeitig im Fernrohre zu sehen, so wundert man sich über das bleiche Aussehen des Merkur gegenüber der weißstrahlenden Venus. Man hat daraus schon früh den Schluß gezogen, Venus sei beständig mit einer dichten Wolkenschicht überdeckt. Je mehr Licht einem Beobachter auf einem Planeten durch die Bedeckung des Himmels mit Wolken entzogen wird, um so mehr strahlt der Planet offenbar in den Himmelsraum wieder zurück. Auch das photometrisch gemessene Verhalten des Venuslichtes während ihres Phasenwechsels zeigt große Verschiedenheiten von dem des Merkur und läßt gleichfalls auf eine mit Wolken erfüllte Atmosphäre schließen.

Danach dürfte Venus also eine beträchtliche Atmosphäre haben, was in der Tat aus verschiedenen anderen Beobachtungsergebnissen mit größter Wahrscheinlichkeit gefolgert werden konnte. Schon verschiedene ältere Beobachter hatten in dieser Hinsicht die auffällige Wahrnehmung gemacht, daß die Hörner der Venus, namentlich wenn sie als sehr schmale Sichel erscheint, sich bedeutend über einen Halbkreis hinaus erstrecken, wie dies besonders deutlich an der Zeichnung auf Seite 110, Nr. 4, hervortritt, die mit Hilfe eines zwölfzölligen Refraktors der Lick-Sternwarte von Barnard kurz vor

und nach der unteren Konjunktion des Planeten im Dezember 1890 ausgeführt wurde. Ein solches Übergreifen ist nur durch die Annahme einer Atmosphäre zu verstehen, in der starke Dämmerungserscheinungen, wie bei uns, auftreten. Infolge der Strahlenbrechung in der Atmosphäre wird das Sonnenlicht so weit um die Venuskugel herumgeführt, daß ein Teil der uns zugewandten Nachtseite noch genügend beleuchtet wird, um für uns sichtbar zu werden. Hier ist eben für die Bewohner der Venus die Dämmerungszone, in der das Zwielicht langsam auf die Schatten der Nacht vorbereitet. Auch der Umstand, daß die Terminatorlinie der Venussichel, wenn sie weiter herangewachsen ist, nicht scharf begrenzt auftritt, wie beim Monde, sondern daß ganz allmählich eine Lichtabnahme nach der dunkeln Seite hin stattfindet, verdankt der gleichen Ursache ihr Entstehen. Bei Vorübergängen der Venus vor der Sonnenscheibe, übrigens recht seltenen Erscheinungen, die besondere Vorteile für die Messung der Sonnenentfernung bieten, hat man den Planeten sogar kurz vor seinem Eintritt in die Sonnenscheibe ganz nahe bei dieser nur infolge dieses übergreifenden Lichtes sehen können, wie er sich von dem hellen Himmelsgrund abhob. Um diese Zeit schloß sich der Dämmerungsring völlig um den Planeten zusammen; das Sonnenlicht wurde also durch Brechung rings um den Planeten herum geschickt. Eine Darstellung dieser Erscheinung, wie sie von Vogel in Potsdam am 6. Dezember 1882 gezeichnet wurde, ist nebenstehend wiedergegeben. Watson hat versucht, aus den betreffenden, während der beiden letzten Venusdurchgänge von 1874 und 1882 gemachten Wahrnehmungen die ungefähre Höhe der Venusatmosphäre abzuleiten, und fand sie der unsrigen, soweit ihre gröberen Wirkungen in Anbetracht kommen, merkwürdig gleich, nämlich zu etwa 88 km.

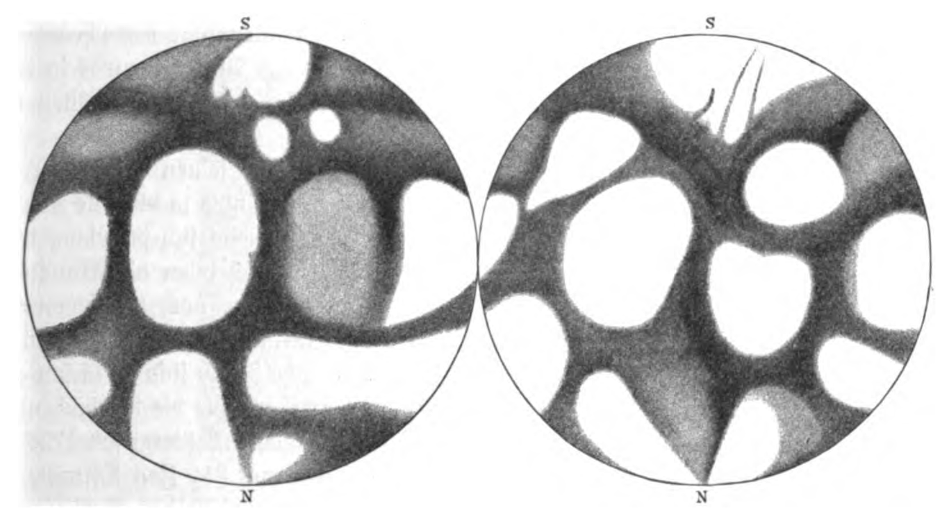


Austritt der Venus aus der Sonnenscheibe beim Venusdurchgang des Jahres 1882. Nach Vogel.

Das Spektrum der Venus bietet eine weitere Bestätigung ihrer Atmosphäre. Vor allem treten die Sonnenlinien in außerordentlicher Fülle und Deutlichkeit und natürlich in vollkommener Übereinstimmung ihrer Lage mit denen im Sonnenspektrum auf. Am Potsdamer Spektrographen konnten über 500 Linien festgestellt werden, die mit solchen im Sonnenspektrum übereinstimmen. Wegen der großen Helligkeit des Venuslichtes kann es ganz hoch am Himmel untersucht werden, wo die irdische Atmosphäre nur schwache tellurische Linien im Spektrum erzeugt. Es liegt deshalb bei Venus nicht so wie bei Merkur eine Unsicherheit unserer Schlüsse über den Ursprung solcher Linien vor. Venus zeigt auch in jenen hohen Zenitstellungen die tellurischen Linien etwas verstärkt, wie Secchi und Vogel fanden, aber sie bleiben verhältnismäßig schwach. Wir müssen daraus den Schluß ziehen, daß nur in sehr geringe Tiefen der Venusatmosphäre dasjenige Sonnenlicht eindringt, das, zu uns hin reflektiert, im Spektroskop zur Untersuchung gelangt. Unsere Annahme, Venus sei mit einer dichten Wolkenhülle umgeben, steht im vollkommenen Einklange mit dieser spektroskopischen Tatsache.

In irgendwelchem Zusammenhange mit dieser Atmosphäre muß wohl auch eine seltsame Erscheinung stehen, die nur gelegentlich auf der Nachtseite der Venus auftritt.

Über diese verbreitet sich selten, dann aber ganz auffällig sichtbar, ein matter Lichtschein, der uns, ebenso wie es um die Neumondzeit mit unserem Begleiter der Fall ist, den ganzen dunkeln Teil der Venus neben der hellen Sichel erkennen läßt. Während wir nun für den Mond die Ursache der Erscheinung sofort in seiner Beleuchtung durch die Erde fanden, ist eine ähnliche Erklärung bei Venus nicht möglich. Das Licht der Erde reicht nicht so weit in den Raum hinein, um noch Venus erleuchten zu können, und letztere hat keinen Mond; wenigstens ist ein solcher, den Astronomen des 17. und 18. Jahrhunderts gesehen zu haben glaubten, seither nicht wieder zu entdecken gewesen. Zuerst wurde dieses phosphoreszierende Licht 1714 von Derham, als schon früher bemerkt, erwähnt. Es trat dann 1721, 1726, 1759 und so fort in unregelmäßigen Intervallen immer wieder auf, verschwand aber in der Zwischenzeit. Winnecke, einer der



Karte der Venus, nach Beobachtungen von L. Niesten in Brüssel, aus den Jahren 1881—90. Vgl. Text, S. 114.

vorzüglichsten Beobachter aus der Mitte des 19. Jahrhunderts, suchte in den sechziger Jahren oft vergebens nach diesem geheimnisvollen Scheine, bis er ihn plötzlich am 25. September 1871 ganz deutlich erkannte. Zuletzt ist er 1895 von Brenner wieder sehr deutlich gesehen worden, selbst schon mehr als hundert Tage vor der unteren Konjunktion, wo noch etwa zwei Drittel des Planeten beleuchtet waren. Sobald das Licht überhaupt auftritt, ist es meist einige Zeit hindurch vorhanden und wird dann gewöhnlich von mehreren Beobachtern zugleich bemerkt. Es ist aber auch der Fall vorgekommen, daß ein Beobachter zu derselben Zeit, da ein anderer den Schein als sehr deutlich bezeichnet hatte, mit mindestens ebenso guten optischen Mitteln keine Spur davon zu entdecken vermochte. Solche Widersprüche erklären sich indes oft durch eine für den besonderen Fall nicht geeignete Wahl von Vergrößerungen oder Öffnungen der Fernrohre. Die Wahrnehmung, daß sich merkwürdigerweise bei Tagesbeobachtungen in solchen Fällen die Nachtseite der Venus dunkel vom hellen Himmelsgrunde abhebt, hat vermuten lassen, daß es sich hierbei überhaupt nur um eine noch unbekannte Art von optischer Täuschung handelt. Seltsam aber bleibt dann immer noch das periodische Auftreten und Verschwinden der Erscheinung. Nehmen wir an, daß zu den betreffenden Zeiten namentlich die Randpartien der

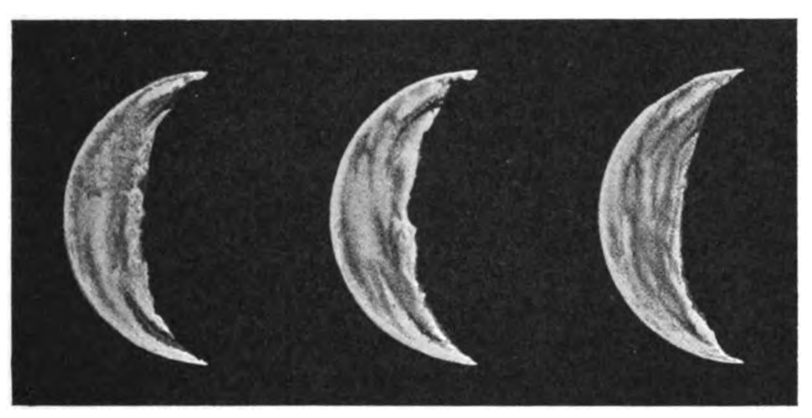
Venusatmosphäre von diesem geheimnisvollen Schein erhellt werden, so kann dadurch der Innenraum infolge Kontrastwirkung dunkler erscheinen als das Himmelslicht außerhalb, wie auch die von dem Strahlenkranze der Korona umgebene verfinsterte Sonne dunkler erscheint als der umgebende Himmel.

Jedenfalls ist die wahre Ursache dieses merkwürdigen Scheines bisher noch ein Rätsel geblieben. Wir können nur vermuten, daß es etwas Ähnliches wie etwa unser Polarlicht sei. Letzteres entsteht in den höheren Regionen unserer Atmosphäre durch elektrische Erregung der verdünnten Luft. Diese Erregung wird sehr wahrscheinlich in irgendeiner Weise durch Fernwirkung der Sonne ausgelöst oder wesentlich unterstützt. Wir sehen deshalb das Polarlicht bei uns am häufigsten erscheinen, wenn die Sonnentätigkeit sich sehr steigert. Da Venus der erregenden Sonne noch näher steht als unsere Erde, so wäre das Auftreten des Polarlichtes auf ihr nicht zu verwundern, wenn wir sonst unserem Planeten ähnliche Verhältnisse dort voraussetzen dürften. Dann müßte das phosphoreszierende Licht zu denselben Zeiten bemerkt werden wie hier das Polarlicht, was in manchen Fällen, beispielsweise im Jahre 1871 und 1895, zutraf. In anderen Fällen aber war ein solches Zusammentreffen nicht nachzuweisen.

Der Planet, der von der in Schönheit strahlenden Venus seinen Namen erhielt, verdient ihn jedoch sehr wenig daraufhin, daß er seinen Leib beständig in dichteste Schleier hüllt, die das Studium seines Wesens sehr erschweren. Oft scheint sich jahrelang dieser Schleier niemals zu lüften, zu anderen Zeiten wieder klärt sich scheinbar die Atmosphäre der Venus anhaltend auf, und man erblickt dann, doch immer noch verschwommen, einige Flecke auf ihr, die gleiche Gestalt und gleiche Lage zueinander zu wahren scheinen, also vielleicht der Oberfläche des Planeten angehören. Solche Flecke sind in diesen günstigen Augenblicken schon in ganz schwachen Fernrohren sichtbar, wie die Beobachtungen von Fontana in Neapel (um 1650) und die von Bianchini zeigen. Letzterer sah 1726 und 1727 in Rom mit seinem zwar riesenlangen (66füßigen), aber nur 2½ Zoll Öffnung haltenden Fernrohre große rundliche Flecke auf Venus, die ihr ungefähr das Aussehen des mit bloßem Auge betrachteten Mondes gaben. Bianchini hielt die Flecke für Ozeane, die er teilweise sogar durch Kanäle miteinander verbunden sah. Diese Beobachtungen bestätigte Anfang der vierziger Jahre de Vico in Rom, dann in unserer Zeit Niesten in Brüssel (1881—90) und namentlich Trouvelot in Meudon bei Paris. Die Abbildung auf S. 113 gibt eine Karte des Planeten, wie sie Niesten aus seinen Beobachtungen zusammengestellt hat. Wir bringen Seite 115 drei Zeichnungen, die Tacchini in Rom am 8. August 1895 in 5—6 Stunden Zwischenzeit gemacht hat, und auf denen namentlich ein langgestreckter Fleck am oberen Horn immer dieselbe Lage zeigt. Wir werden gleich sehen, welche interessante Erwägungen sich hieran knüpfen.

Die Realität aller dieser Flecke, wie sie von den verschiedenen Beobachtern wiederholt gesehen wurden, wird nämlich gegenwärtig stark in Zweifel gezogen. Villiger in München hat Kugeln aus verschiedenem Material, aber ganz ohne Flecke, in dieselben Beleuchtungsverhältnisse gebracht wie Venus und sie mit dem Fernrohr beobachtet. Dabei wiesen diese Kugeln für jedermann, der scharf genug solche an der Grenze der Sichtbarkeit stehenden Lichtdifferenzen aufzufassen vermag, Flecke von derselben Art auf, wie sie die Venusbeobachter zeichneten. Es konnte auch theoretisch gezeigt werden, daß nach den Gesetzen der Lichtverteilung auf solchen Kugeln derartige Abschattierungen auftreten müssen.

Man hat es hier also höchstwahrscheinlich mit Augentäuschungen zu tun, wie man ihnen begreiflicherweise in dem Bestreben, die letzten noch durch unsere Fernrohre erreichbaren Rätsel des Himmels lösen zu wollen, nicht eben selten begegnen wird, wo man sich an die äußersten Grenzen, an die „Schwellen" der sinnlichen Wahrnehmbarkeit begibt. Solchen Täuschungen sind kleinere Fernrohre mehr unterworfen als die Riesensehwerkzeuge der Neuzeit, und deshalb ist es charakteristisch, daß Amateure mit kleinen Instrumenten viele Dinge sehr deutlich zu sehen vermeinen, von denen in jenen großen Refraktoren wenig oder nichts erkennbar ist. So teilt Barnard mit, daß er bei Gelegenheit seiner 1900 gemachten Bestimmungen des Venusdurchmessers mit dem gewaltigen Yerkes-Refraktor zwar stets Andeutungen von Flecken sah, daß diese aber zu schwach waren, eingezeichnet werden zu können. Freilich sah er die Flecke auch nicht besser in dem 4zölligen „Sucher"-Fernrohr am großen Refraktor. Es scheint nach allem, daß auf Venus neben jenen auf optischer Täuschung beruhenden gelegentlich auch wirkliche Flecke zu erkennen sind, wenn Wolkenlücken in der Venusatmosphäre einen Durchblick auf die eigentliche Oberfläche des Planeten gestatten.



Venus, von Tacchini gezeichnet. Vgl. Text, S. 114.

Besondere Aufmerksamkeit schenkte man stets den Hörnern der Venus, die zeitweilig deutlichen Veränderungen sowohl ihrer Form als ihrer Helligkeit unterworfen sind. Einige Beobachter sahen diese, wie überhaupt die nördlichen und südlichen Teile des Planeten heller als seine übrige Oberfläche (s. die Abbildung, S. 117). Dies ist bemerkenswert, weil man bei der Erde, könnte man sie aus der Entfernung der Venus betrachten, ähnliche helle Flecke im Norden und Süden, d. h. an ihren Polen, bemerken würde. Außer diesen größeren weißen Flächen treten aber auch kleinere helle Flecke nahe am Südpol der Venus auf, wobei wir mit der Benennung „Pol" zunächst nichts anderes ausdrücken wollen, als daß es sich um extrem südlich, beziehungsweise nördlich gelegene Teile der Oberfläche handelt. Die hellen Flecke sind von besonders dunkeln Partien umrahmt. Trouvelot sah zuweilen, wie diese sich in einzelne ganz feine Pünktchen trennen, und macht es wahrscheinlich, daß sie von vielen anderen Beobachtern vor ihm stets an derselben Stelle gesehen worden sind. Er hielt sie für hohe, schneebedeckte Berge, die fast immer über die Wolkenschleier der Südpolargegend hervorragen. Aber auch diese hellere Beleuchtung der Hörnergegend kann nach Villiger Täuschung sein.

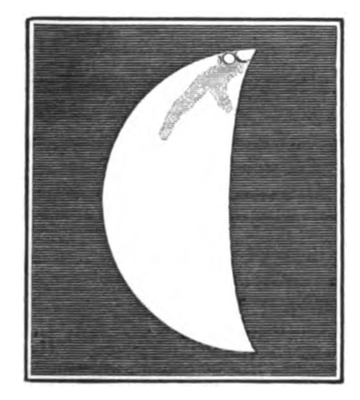
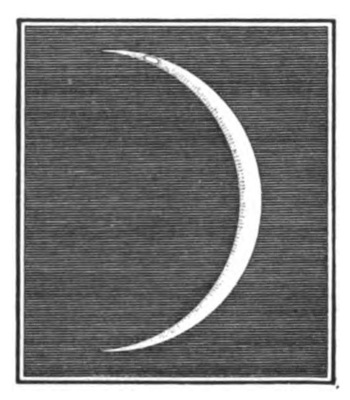
Mit der Beobachtung der Flecke hängt, wie wir schon bei Gelegenheit des Merkur sahen, die Frage der Umdrehungsgeschwindigkeit des Planeten eng zusammen.

Da nun jene Flecke so problematisch sind, wird es nicht wundernehmen, daß wir auch in dieser Hinsicht auf ähnliche Schwierigkeiten stoßen wie bei dem sonnennächsten Planeten; ja für Venus bleibt die Frage noch weniger entschieden. Die ersten Beobachter nahmen ihre Rotationsperiode etwa gleich der der Erde an; Bianchini dagegen schloß aus seinen Beobachtungen auf eine Dauer des Umschwunges von 24⅓ Tagen. Andere kamen dann wieder auf die nahezu 24stündige Umschwungsperiode zurück, bis in einer Reihe von Abhandlungen, die Schiaparelli über den Gegenstand von 1890 ab veröffentlichte, dieser gründliche und vorsichtige Forscher die Überzeugung aussprach, auch bei Venus haben bisher dieselben Irrtümer obgewaltet wie bei Merkur, und auch sie bewege sich sehr langsam etwa in der gleichen Zeit um ihre Achse, die sie zu einem Umlauf um die Sonne gebrauche, also etwa in 224 Tagen. Flecke, die auf alten Zeichnungen von Gruithuisen aus dem Jahr 1813, dann wieder von Vogel in Bothkamp 1871 und jüngst von Brenner gesehen und identifiziert wurden, bewiesen dies; auch weitere Beobachtungen von Perrotin in Nizza und Holden auf der Lick-Sternwarte schienen jene Überzeugung zu bestätigen. Aber dann tauchten auch wieder Zweifel an ihrer Richtigkeit auf, die namentlich von Niesten und Trouvelot sehr gekräftigt wurden. Letzterer glaubt an einer großen Zahl eigener Wahrnehmungen (er sammelte zwischen 1876 und 1891 nicht weniger als 744 Beobachtungen und 295 Zeichnungen) beweisen zu können, daß die Rotationsperiode der Venus nur sehr wenig von 24 Stunden verschieden sein könne. Erwägen wir, daß jene nach Villiger auf Täuschung beruhenden Abschattierungen naturgemäß immer an derselben Stelle der beleuchteten Kugel stehen bleiben, möge sich diese um sich selbst drehen oder nicht, so fallen alle Argumente, die man aus dieser Unveränderlichkeit auf die Rotationsdauer der Venus gezogen hat, in sich zusammen, und höchstens könnten Beobachtungen, die auf eine schnelle Rotation schließen lassen, tatsächliche Verhältnisse zugrunde liegen, weil eine schnelle Bewegung von Flecken durch Täuschungen der angegebenen Art nicht erklärt werden könnten. Solche Beobachtungen glaubte Brenner gemacht zu haben.

Eine unzweideutige Antwort auf diese vielumstrittene Frage der Rotationszeit der Venus könnte das Spektroskop durch das auf Seite 61 dargestellte Dopplersche Prinzip der Linienverschiebungen geben. Wenn Venus sich schnell um ihre Achse dreht, so muß die eine Seite ihrer Oberfläche sich gegen uns her-, die andere von uns hinweg bewegen. Die Vergleichung der Lage der Spektrallinien, die vom Ost- und vom Westrande der beleuchteten Scheibe ausgehen, muß dann die Rotationsgeschwindigkeit ergeben. Versuche in dieser Richtung sind gemacht worden, aber sehr schwierig einwandfrei durchzuführen, weil es sich um die Vergleichung sehr nahe beieinander befindlicher und doch getrennt zu beobachtender Punkte handelt, die selten unter guten atmosphärischen Bedingungen festzuhalten sind. Deshalb stößt man auch hier auf Widersprüche in den Beobachtungsreihen. Belopolsky in Pulkowa bei St. Petersburg fand eine kurze Umlaufszeit, Slipher auf dem Lowell-Observatorium 1902 eine lange, in dem für die Bewegung eines Punktes des Venus-Äquators nur 15 m in der Sekunde erhalten wurden, während bei einer Umdrehung in 24 Stunden 450 m erhalten werden müßten, eben etwa dieselbe Geschwindigkeit, wie sie auch ein Punkt des Erdäquators besitzt. Eine Umdrehung in 225 Tagen dagegen erfordert eine Äquatorumschwungsgeschwindigkeit von 20 m, womit das spektrographische Ergebnis im guten Einklang stehen würde. Nehmen wir aber alles

zusammen, so müssen wir die Frage der Rotationszeit der Venus derzeit noch als unentschieden hinstellen.

Zu den vielen Rätseln, die uns gerade dieser uns am nächsten kommende Planet aufgibt, gesellt sich nun noch das des Venusmondes. Eine Anzahl von Beobachtern, von denen einige als sehr geübte Kenner des Himmels und namentlich ihrer freilich früher noch recht unvollkommenen Fernrohre galten, sahen zwischen 1645 und 1768 gelegentlich ein Möndchen, meist von derselben Sichelgestalt wie Venus, neben ihr stehen. Aber seit jener Zeit ist auch nicht eine Spur davon wieder zu entdecken gewesen. Scheuten in Krefeld will sogar den Mond während des Venus-Durchganges vom 6. Juli 1761 mitten auf der Sonne drei Stunden lang verfolgt haben. Er berichtete darüber, allerdings erst 14 Jahre später, als man bereits nach Beobachtungen des damals fraglich werdenden Objektes suchte, an den Kosmographen Lambert: „Was wir binnen dieser drei Stunden in der Sonne sahen, konnte nichts anderes als der Trabant sein. Er kam mir so schwarz, rund und distinkt vor als Venus, aber viel kleiner, etwa ein Viertel so groß. Er sah auch den Sonnenflecken, die ich vielmal gesehen, gar nicht ähnlich. Auch kam sein Lauf mit dem Laufe der Venus überein; er war aber etwas geschwinder." Viel Gewicht muß auch einer Beobachtung von Short beigelegt werden, der bis gegen die Mitte des vorigen Jahrhunderts für den bedeutendsten Optiker seiner Zeit galt, und dem man also einen falschen Gebrauch seines Fernrohres, das ihm etwa nur Spiegelbilder gezeigt hätte, kaum zumuten darf. Short sah den Venusmond am 4. November 1740 um 5 Uhr morgens 10⅓′ vom Hauptplaneten abstehend, von gleicher Phase wie der letztere, aber auf ein Drittel verjüngt. Im ganzen liegen 33 Beobachtungen aus der angegebenen Zeit vor. Bei genauerer Sichtung derselben fand allerdings Stroobant in Brüssel, daß man in 19 Fällen Verwechselungen mit Fixsternen nachweisen kann, in deren Nähe die Venus damals vorüberging; andere können nicht als genügend zuverlässig angesehen werden. Es bleiben schließlich nur zwei oder drei übrig, die als unaufgeklärt zu betrachten sind. Dabei ist noch zu berücksichtigen, daß selbst in den Fernrohren der Gegenwart in der Nähe der Venus infolge ihrer großen Helligkeit gelegentlich seltsame Erscheinungen wahrgenommen werden, die zweifellos auf optischen Täuschungen beruhen, ihrer Entstehung nach jedoch zunächst nicht zu erklären sind. Beer und Mädler berichten von solchen Irrbildern, die nach allen Nebenumständen kaum im Fernrohr entstanden sein können. Da Venus das hellste Himmelsobjekt nach Sonne und Mond ist, so wäre es wohl möglich, daß auch sie gewisse atmosphärische Lichterscheinungen hervorzubringen vermöchte, die etwa den Nebensonnen vergleichbar sind. Durch solche Phänomene könnte wohl die Legende vom

Helle Flecke am Südpol der Venus. Nach G. V. Schiaparelli. Vgl. Text, S. 115.

Venusmond entstanden sein, die dann durch andere Irrtümer weiter ausgebildet wurde. Jedenfalls ist es sicher, daß ein permanenter Himmelskörper von den damals für den Venusmond mitgeteilten Dimensionen der heutigen Beobachtungskunst nicht entgehen könnte. Ein Venusmond existiert also heute sicher nicht mehr. Nach neueren Erfahrungen über die kleineren Körper unseres Planetensystems, dessen Organisation durch eine Reihe von jüngeren Entdeckungen im letzten Jahrzehnt in einem neuen Licht erscheint, worauf wir noch wiederholt zurückzukommen haben, ist es jedoch nicht ganz ausgeschlossen, daß ein Körper nur vorübergehend einem Planeten als Trabant angehören könnte. Wir werden sehen, daß kleine Planeten wahrscheinlich in allen Teilen unseres Sonnenreiches herumschwärmen und gelegentlich weit aus ihren ursprünglichen Bahnen versprengt zu sein scheinen.

Man darf unseres Erachtens auch nicht allzuviel unter der Rubrik „Augentäuschungen" beiseite legen. Gelegentliche Andeutungen realerer Erklärungsmöglichkeiten können unsere Erkenntnis jedenfalls vorteilhafter erweitern.

Das Gesagte ist so ziemlich alles, was wir von dem hellsten Stern am ganzen Firmamente wissen. Wir müssen bekennen, daß es recht wenig ist.

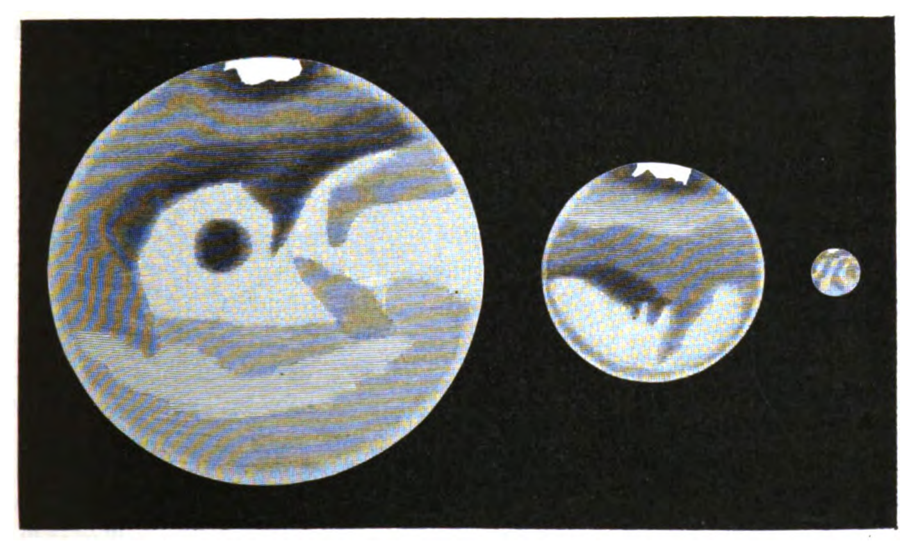
---

4. Mars.

Weit besser als Venus kennen wir den rötlich leuchtenden Mars, den ersten in der Reihe der Planeten, der jede beliebige Stellung zur Sonne einzunehmen vermag, folglich auch am Nachthimmel gesehen werden kann. Zu gewissen Zeiten tritt also Mars in Opposition zur Sonne, d. h. er steht ihr dann genau gegenüber oder ist im Süden zu sehen, wenn zur Mitternachtszeit die Sonne im Norden unter dem Horizonte steht. Zwischen je zwei solchen Oppositionen verfließen durchschnittlich 2 Jahre 49 Tage; das ist also seine synodische Umlaufszeit.

Während der Opposition erscheint Mars als vollbeleuchtete Scheibe, und zwar hat diese dann zugleich ihre größte Ausdehnung, die unter mittleren Verhältnissen 17,9 Sekunden beträgt. Indem er sich der Sonne nähert, kann er zu ihr in Quadratur treten; so nennt man seine Stellung, wenn die Richtungslinien von ihm und von der Sonne in unserem Auge unter einem Winkel von 90 Grad zusammentreffen. Seine Phase hat bis dahin zwar abgenommen, der Planet ist indes um diese Zeit immer noch etwa zu $^6/_7$ beleuchtet. Nun nimmt aber die Phase nicht weiter ab: der Planet wird wieder mehr beleuchtet, während er sich der Sonne weiter nähert und gleichzeitig sein Durchmesser fortgesetzt abnimmt. Sobald er endlich scheinbar ganz nahe bei der Sonne vorüberzieht, mit ihr in Konjunktion tritt, hat er seinen kleinsten Durchmesser von 3,7 Sekunden angenommen und erscheint nun wieder, wie bei der Opposition, als volle Scheibe. Das Größenverhältnis des Planeten in seinen drei charakteristischen Stellungen zu uns ist in der Abbildung auf S. 119 angegeben. Es folgt daraus in ganz ähnlicher Weise, wie es für Merkur und Venus auseinandergesetzt wurde, daß die Entfernung des Mars von der Sonne gleich 1,52 der unsrigen ist. In seiner Opposition ist er also unter den früher gemachten Voraussetzungen etwa 75 Millionen km von uns entfernt, in der Konjunktion 375 Millionen km. Wir bemerken jedoch am Mars zuerst in auffälliger Weise, daß diese Verhältnisse nicht bei

jedem scheinbaren Umlauf um das Himmelsgewölbe ganz genau innegehalten werden. Die veränderliche Größe der Scheibe des Planeten während der verschiedenen Oppositionen zeigt uns, daß sowohl unsere Entfernung vom Mars bei den Oppositionen der verschiedenen Jahre Schwankungen unterworfen ist wie auch der Abstand des Mars von der Sonne. Es ist bekannt, daß diese Wahrnehmung ihren Grund in der elliptischen Gestalt der Planetenbahnen hat, die bei Mars ganz besonders stark hervortritt. Uns interessiert dieser Umstand hier zunächst nur insofern, als wir daraus erkennen, daß nicht alle Oppositionen des Mars für seine Beobachtung gleich günstig sind. Während bei mittleren Verhältnissen, wie wir sahen, der Durchmesser des Planeten unter einem Winkel von ca. 18 Sekunden erscheint, kann er sich bei günstiger Stellung bis zu 24,4 Sekunden ver-



Größenverhältnisse des Mars in seinen extremen Stellungen. Vgl. Text, S. 118.

größern, also um etwa ein Drittel gegenüber mittleren Verhältnissen. Da sich alle Einzelheiten auf der Planetenoberfläche natürlich in demselben Maße vergrößern, bedeutet das für uns einen erheblichen Vorsprung, der sich für die kürzeste Entfernung auf nahezu 20 Millionen km mehr oder weniger beziffert. Unsere obenstehende Abbildung veranschaulicht an der größten Scheibe die scheinbare Größe des Mars in seinen günstigsten Oppositionen, gegenüber seiner mittleren und geringsten Größe. Diese günstigsten Oppositionen kehren periodisch alle 15—16 Jahre wieder; z. B. waren 1877, 1892 und 1907 Oppositionen mit maximalem Planetendurchmesser, wogegen 1884 und 1886 die in dem sechzehnjährigen Turnus ungünstigsten Verhältnisse vorlagen.

Für bestimmte feste Beobachtungspunkte auf der Erde kommt allerdings noch ein anderer Umstand in Betracht, der den Vorteil der größeren Nähe des Planeten wieder völlig wettmachen kann; das ist die Lage des Gestirns zum Horizont. Wir wissen bereits, wie groß die Einbuße ist, die das deutliche Sehen im Fernrohr durch die trüben Schleier unserer Atmosphäre erleidet. Nun zeigt es sich, daß Mars bei den verschiedenen Oppositionen verschieden hoch über dem Horizont eines bestimmten Ortes steht. Im Jahre 1892 (wie auch 1907) z. B. blieb Mars für die Sternwarten unserer nördlichen Erdhälfte so nahe





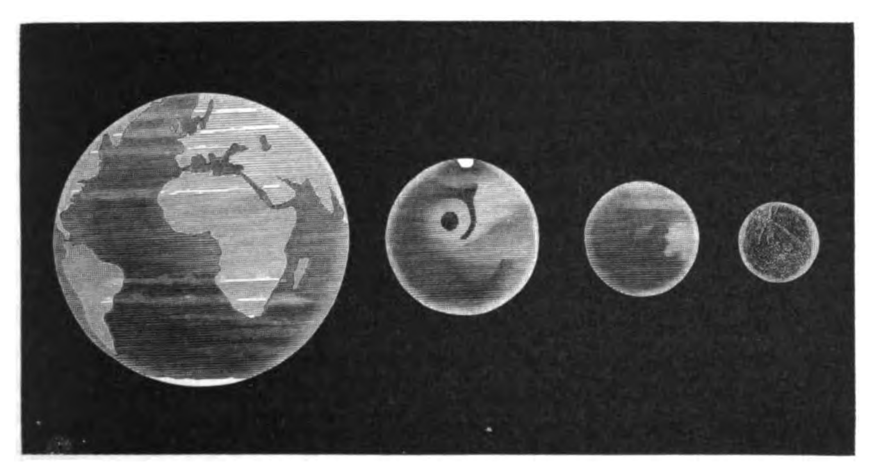
dem Horizonte, daß gute Beobachtungen nur unter ganz besonders günstigen atmosphärischen Verhältnissen gelingen konnten. Für diese Sternwarten war die Opposition von 1894, bei der Mars zwar um etwa ein Fünftel kleiner erschien als zwei Jahre vorher, ungleich günstiger, weil er damals bedeutend höher stand, sein Licht also nur sehr viel weniger Schichten unserer störenden Lufthülle zu durchdringen hatte. Aber diese letzteren Übelstände sind glücklicherweise nur lokaler Natur; einen je südlicheren Standpunkt man auf der Erde einnimmt, um so höher steigen die südlichen Gestirne über den Horizont. Es war deshalb von sehr großem Werte für die Ausbeutung der astronomisch ungemein günstigen Opposition von 1892, daß sich ein Freund der Sternkunde in Amerika entschloß, die bereits wiederholt genannte Beobachtungsstation auf der Hochebene von Peru, bei der Stadt A r e q u i p a, unter 16° Südbreite in einer Höhe von 2457 m einzurichten, die besonders dem Studium der Marsoberfläche dienen sollte. Für die folgende Opposition von 1894, bei der, wie erwähnt, die Höhenstellung des Planeten für die nördlichen Breiten eine günstigere war, brauchte man nicht mehr so südliche Örtlichkeiten aufzusuchen. Der Amerikaner Lowell konnte deshalb seine in Flagstaff (Arizona) errichtete Privatsternwarte mit großem Erfolg ausschließlich Marsstudien widmen. Zwei tüchtige Beobachter, W. H. Pickering und A. E. Douglaß, die sich daran beteiligten, hatten während der vorangegangenen Opposition in Arequipa gearbeitet. Diese Beobachter im Verein mit den Astronomen der Lick-Sternwarte, die wegen ihrer Höhenlage, des günstigen Luftzustandes auf Mount Hamilton und namentlich auch wegen des gewaltigen, ihnen dort zur Verfügung stehenden Sehwerkzeuges gleichfalls die wertvollsten Beiträge zur Erforschung des Nachbarplaneten liefern konnten, ferner manche andere eifrige Beobachter in Europa, die im Verfolg der Darstellung zu erwähnen sein werden, haben unsere Kenntnis von dieser höchst eigenartigen und in vielen Punkten noch tief geheimnisvollen Welt außerordentlich gefördert.

Aus den oben gemachten Angaben über die Entfernungen und scheinbaren Größen (9.30″ in der mittleren Sonnenentfernung) des Mars folgt, daß seine w a h r e A u s d e h n u n g 6740 km beträgt. (Barnard erhielt allerdings aus 11 Messungen am Yerkes-Refraktor 9.673″ = 7004 km, die wir in diesem Falle aber den älteren Messungen nicht glauben vorziehen zu sollen.) Mars ist also etwa halb so groß wie unsere Erde und noch einmal so groß wie der Mond. Unsere Abbildung auf S. 121 gibt die Größenverhältnisse der bisher betrachteten Himmelskörper an, nur ist für Venus, die ebenso groß ist wie die Erde, die letztere gesetzt. Die gegebenen Vergleichungen beziehen sich auf die Durchmesser. Um die Oberflächen miteinander zu vergleichen, muß man bekanntlich die Durchmesser mit sich selbst multiplizieren. Die gesamte Oberfläche des Mars hält danach nur ein Viertel von jener der Erde oder fast genau so viel, wie die Kontinente der Erde allein einnehmen.

Bei Mars konnte man zuerst der Frage näher treten, ob nicht seine Kugel in der Weise, wie wir es von der Erde wissen, abgeplattet sei, also sein Durchmesser in einer bestimmten Richtung sich als kleiner erweisen würde als ein darauf senkrecht stehender. Bei Merkur und Venus konnten der Beobachtungsschwierigkeiten wegen solche Untersuchungen nicht angestellt werden. Bei der Marsscheibe glauben Schur und neuerdings Barnard wirklich eine elliptische Gestalt wahrgenommen zu haben. Schur gibt die Abplattung zu $^1/_{50}$ an. Dies wäre indes wesentlich mehr, als die Theorie zuläßt, die gestattet, für eine bestimmte Umschwungsgeschwindigkeit eine bestimmte Gestalt des „Rotationsellipsoids“ zu berechnen, was für die Erde mit der Beobachtung übereinstimmte. Der sehr geringe

Unterschied zwischen dem polaren und dem äquatorialen Durchmesser beim Mars liegt aber wiederum an der Grenze unseres Erkennungsvermögens. Wir müssen zunächst Mars als für uns unmerklich abgeplattet erklären.

Von diesen ganz allgemeinen Lage- und Größenverhältnissen zur Analyse des Marslichtes übergehend, bemerken wir zunächst, daß seine Strahlen ausgesprochen rot gefärbt sind. Dies fiel bereits den ältesten Völkern auf. So ist im Sanskrit der Zuname des Mars gleichbedeutend mit brennender Kohle; die Griechen nannten ihn den feurigen, und in der Tat kann man sein Licht, wenn er nahe an unseren Horizont getreten ist, leicht mit dem eines irdischen fernen Feuers verwechseln. Keines der übrigen Mitglieder des Planetensystems hat eine ähnliche Färbung; nur einige Fixsterne strahlen rötliches Licht aus. Fragen wir nach der Ursache dieser auffälligen Färbung des Mars, so wird man



Größenvergleichung der Erde mit dem Mars, dem Merkur und dem Monde. Vgl. Text, S. 120.

zunächst die Aussagen des Spektroskops heranzuziehen suchen. Dieses Instrument lehrt uns, daß die rote Färbung nicht oder höchstens zu einem sehr geringen Teile von einer Dunsthülle des Planeten herrührt, wie man es vor der Anwendung des Spektroskops auf die Himmelsforschung ziemlich allgemein geglaubt hatte. Man schloß damals zu voreilig von den Zuständen, die uns auf der Erde umgeben, auf die des Mars. Würde man nämlich unsere Erde aus der Entfernung des Mars beobachten können, so müßte sie ein ganz ähnliches Licht zeigen wie er. Der blaue Himmel über uns ist ein Beweis dafür, daß eine große Menge blauer Strahlen aus dem Sonnenlichte von unserer Atmosphäre absorbiert wird und deshalb ein beträchtlicher Überschuß von roten Strahlen in den Himmelsraum außerhalb der Erde zurückgehen muß. Die rote Färbung des verfinsterten Mondes, der dann nur noch vom Dämmerungskreise der Erde beleuchtet wird, zeigt uns am deutlichsten die Farbe des Erdlichtes. Würde man dieses Licht untersuchen, so sähe man, daß das Rot durch eine Anzahl dunkler Linien und Banden im blauen Teile des Spektrums der Erde hervorgebracht wird. Solche Linien und Banden entstehen, wie wir wissen, durch Absorption in einem an sich dunkeln Gase. Wir hätten also damit die Existenz der Erdatmosphäre nachgewiesen.

Anders aber verhält es sich mit dem Mars. Sein Spektrum zeigt ebenso wie das des Merkur und der Venus nur ganz geringe Andeutungen atmosphärischer Linien, die das

Überwiegen des Rot jedenfalls nicht erklären können. Dagegen ist das hinter den Fraunhoferschen Linien liegende kontinuierliche Spektrum im roten Teile bedeutend intensiver als im blauen. Auf der Erde wird ein entsprechendes Spektrum durch einen rötlichen Gegenstand hervorgebracht, der von der Sonne beleuchtet wird. Wir haben bereits in dem Kapitel über die Spektralanalyse gesehen, daß feste oder flüssige Körper keine Spektrallinien erzeugen; wohl aber müssen sie, wenn sie eine bestimmte Farbe besitzen, dies durch Absorption der komplementären Farben verraten. Das Spektrum sagt also in diesem Falle nichts mehr über die chemische Natur jener Stoffe aus, von denen das Licht zurückstrahlt, gibt uns aber sehr sicheren Aufschluß über ihre Farbe. Die festen oder flüssigen Gegenstände auf dem Mars, die das Sonnenlicht reflektieren, sind demnach zum großen Teile rötlich oder doch gelbrötlich, etwa wie der Wüstensand.

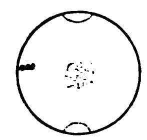
Über die Atmosphäre des Mars belehrt uns das Spektrum wieder nur sehr unvollkommen. Eine Anzahl von Beobachtern glaubte sich zwar bis in die jüngste Zeit zu dem Schlusse berechtigt, Mars besitze eine Dunsthülle, die der unsrigen sehr ähnlich und namentlich reich an Wasserdampf sein müsse. Aber Campbell von der Lick-Sternwarte glaubte zeigen zu können, daß jene älteren Beobachtungen nicht einwandfrei, z. B. meistens zu Zeiten angestellt seien, in denen auch unsere Atmosphäre überreich an Wasserdampf war, dessen Einfluß dann sehr schwer von dem des Marslichtes zu trennen ist. Er hatte im Sommer 1894 Gelegenheit, das Marsspektrum unter selten günstigen Bedingungen zu beobachten und es mit dem analysierten Lichte des in einem Falle in großer Nähe befindlichen Mondes zu vergleichen. Er konnte dabei absolut keinen Unterschied zwischen den Spektren der beiden Himmelskörper bemerken. Obgleich nun der Mond keine sich irgendwie verratende Atmosphäre hat, hielt sich Campbell doch nicht ohne weiteres für berechtigt, auch auf dem Mars eine solche zu verneinen. Dieselbe dürfe seiner Ansicht nach nur nicht ein Viertel der Dichte der unserigen überschreiten, um mit seinen Beobachtungen noch im Einklange zu bleiben.

Wir müssen, um weitere Anhaltspunkte zur Entscheidung der Frage nach einer Dunsthülle des Mars zu gewinnen, das Spektroskop beiseite legen, um mit dem Fernrohre die Erscheinungen seiner Oberfläche eingehend zu studieren. Ganz unvergleichlich deutlicher als Merkur und Venus zeigt nämlich Mars verschiedenartigste Oberflächendetails, von denen einige seit den frühesten Zeiten der Fernrohrbeobachtung richtig erkannt wurden, während andere zu den schwierigsten Objekten gehören. Ihre Erforschung blieb einigen Glücklichen vorbehalten, bei denen sich Beobachtungsgabe, Ausdauer, physiologische Veranlagung mit dem Besitze vorzüglichster Sehwerkzeuge unter günstigster Stellung auf unserem Erdplaneten verbanden.

Die Scheibe des Planeten zeigt zunächst selbst in kleineren Fernrohren bis zu etwa vier Zoll Öffnung herab unter günstigen Luftverhältnissen die vorherrschenden gelblichroten Flecke, unterbrochen von blaugrauen, auch schwärzlichblauen Partien, die ihre Gestalt und Lage zueinander im allgemeinen stetig beibehalten, sich dagegen gleichmäßig zum Rande der Scheibe hin verschieben, so daß, nachdem man wenige Stunden lang das eigentümliche Schauspiel verfolgt hat, in dem Beobachter kein Zweifel darüber bestehen kann, daß diese Weltkugel sich wie unsere Erde um eine Achse dreht. Genaue Messungen ergaben, daß diese Drehung mit derselben Gleichmäßigkeit und Unveränderlichkeit erfolgt wie die, welche für uns die Tageslänge bestimmt und den leuchtenden

Tag mit der Nacht abwechseln läßt. Auch ist die Tageslänge für Mars nicht wesentlich verschieden von der unserigen. Mars dreht sich in 24 Stunden 37 Minuten 22,65 Sekunden einmal um sich selbst, er braucht dazu nur 41 Minuten mehr als die Erde. Diese Geschwindigkeit des Umschwunges ist bei Mars sicher bis auf wenige Hundertstel einer Sekunde richtig erkannt worden.

Aus dem Wege, den die festen Oberflächendetails infolge der Umschwungsbewegung über die scheinbare Scheibe des Planeten zurücklegen, kann man auf die Lage der Achse innerhalb der Planetenkugel schließen, mit anderen Worten, man kann die Lage der Pole zu diesen umlaufenden Flecken des Mars und also auch zu irgend einem Fixpunkt im Raume finden. Es ergab sich, daß die Umdrehungsachse ein ähnliches Lagenverhältnis hat wie die der Erde, d. h., ungefähr von Süden nach Norden gerichtet ist. Wir müssen uns nähere Angaben über die kosmischen Beziehungen dieser Lagenverhältnisse für den zweiten Teil dieses Werkes vorbehalten und erinnern hier nur an die allgemein bekannte Tatsache, daß bei unserem Erdplaneten die besondere Lage seiner Rotationsachse die Intensität des Jahreszeitenwechsels bedingt. Dasselbe ist auf Mars der Fall. Wir sind imstande, genau die irdischen Daten anzugeben, an denen auf der Marskugel für eine ihrer Hälften Frühling, Sommer, Herbst und Winter beginnen. Wir können auch mit Bestimmtheit behaupten, daß auf Mars die Gegensätze zwischen Sommer und Winter ähnlich sein müssen wie bei uns; nur ein wenig extremer werden sie voraussichtlich dort sein. Auch sind die Jahreszeiten auf unserem Nachbarplaneten länger und unter sich ungleicher als bei uns. So begann z. B. auf der Nordhalbkugel des Mars der Frühling am 12. November 1898, der Sommer am 30. Mai 1899, der Herbst am 28. November 1899, der Winter am 23. April 1900 und der nächste Frühling am 30. September 1900. Es waren also die betreffenden Jahreszeiten 199, 182, 146 und 160 unserer Tage lang. Wir werden die entsprechenden Ursachen dieser Ungleichheiten später kennen lernen.



Erste bekannte Zeichnung des Mars mit seinen Polarflecken, von Maraldi (1704).

An den Polen des Mars bemerkte man schon frühzeitig als auffälligste Erscheinung der ganzen Planetenoberfläche zuweilen glänzend weiße Flecke, wenn diese überhaupt sichtbar waren. Die erste Zeichnung dieser sogenannten weißen Polarkappen besitzen wir von Maraldi aus dem Jahre 1704 (s. die obenstehende Abbildung); aber Maraldi schrieb damals, daß sie bereits seit 50 Jahren gesehen worden seien. Selten sind diese Flecke am Nord- und Südpol zugleich sichtbar. Meist ist nur einer der Pole von unserem Standpunkt aus unseren Blicken zugänglich, während der andere monatelang sich auf der uns abgewandten Seite des Planeten versteckt. Natürlich haben die Polarzonen des Mars wie die der Erde während ganzer Jahreszeiten beständig Tag oder Nacht, da sie abwechselnd der Sonne lange Zeit hindurch zu- oder abgewandt sind. Es kommen jedoch auch Zeiten vor, in denen keiner der Polarflecke aufzufinden ist. Das erklärt sich daraus, daß diese Gebilde nicht beständig sind, sondern abwechselnd größer und wieder kleiner werden, bis sie selbst ganz verschwinden.

Die Beobachtung dieses Phänomens erwies mit Klarheit, daß das Wachsen und Schwinden der weißen Polarkappen mit dem Jahreszeitenwechsel auf dem nahen Planeten in engem Zusammenhange steht. Das hatte schon Herschel 1781 deutlich erkannt. Jedesmal wenn einer der Pole nach langer Winternacht sich wieder der Sonne zukehrt, sehen wir ihn mit einer rundlichen, weißen Kappe überdeckt, deren Größe nun langsam, aber

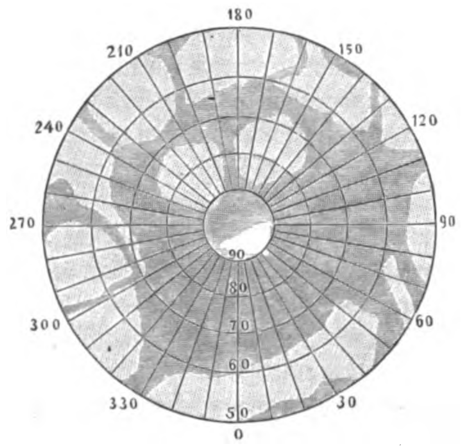
beständig abnimmt, je mehr die betreffende Halbkugel des Planeten sich ihrem Sommeranfang nähert. Auch noch über diesen hinaus nimmt die Ausdehnung der weißen Zone ab, bis zwei oder drei unserer irdischen Monate in den Marssommer hinein, was für ihn so viel wie bei uns Anfang oder Mitte August bedeutet. Nun bleibt der Fleck eine ganze Weile sehr klein, bis er um die Herbstnachtgleiche herum wieder langsam zu wachsen beginnt, aber zugleich unseren Blicken entschwindet, weil der Pol wieder in die Winternacht taucht. Alsdann beginnt dasselbe Spiel auf der anderen Halbkugel. Aber die Erscheinung tritt nicht mit absoluter Regelmäßigkeit auf. In gewissen Jahren sah man den Fleck sich weiter ausdehnen als in anderen oder sich wesentlicher verkleinern; auch erscheint der Fleck nicht immer genau in denselben Lagen zum Pol, und besonders bemerkenswert ist es, daß der letzte Rest des verschwindenden Fleckes zwar nahe am Pole, aber doch nicht ganz auf ihm liegt.


G. V. Schiaparelli (geb. 1835 zu Savigliano in Piemont). Nach Photographie.

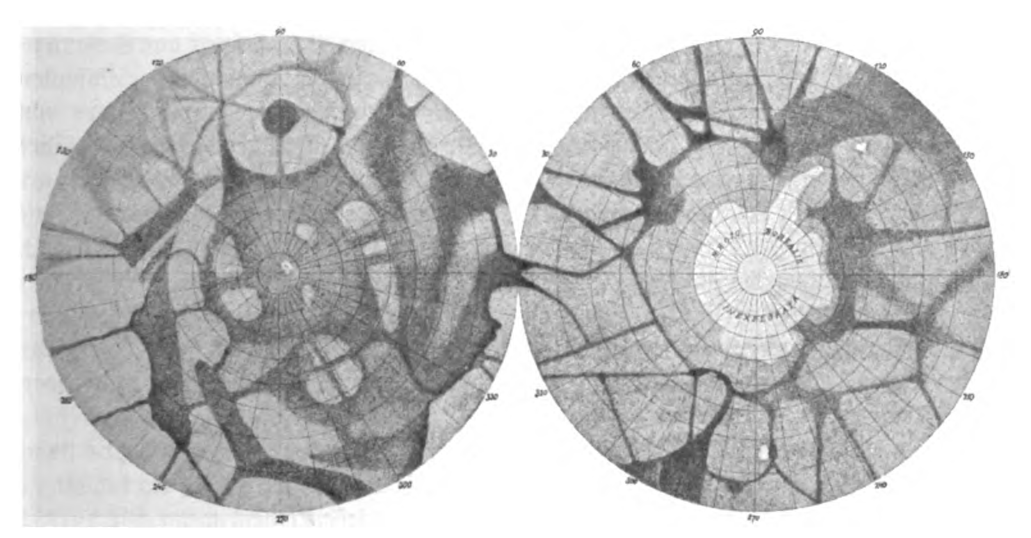
Einige Beispiele mögen diese Verhältnisse noch weiter erläutern. Im Jahre 1837 war der Südpol des Mars auf einem Gebiete durch diesen weißen Fleck bedeckt, das etwa 70 Breitengraden gleichkommt, d. h., wenn man die Marskugel ebenso wie die Erde mit Parallelkreisen umgürtet, so erschien die Oberfläche damals etwa bis zum 55. Breitengrade, der bei uns die nördlichsten Punkte Deutschlands durchzieht, von einem weißen Überzuge bedeckt. Dies dürfte allerdings ein extremer Fall gewesen sein, denn später sah man die Ausdehnung des weißen Polarfleckes im Maximum kaum halb so groß wieder. Im Jahre 1877 fand Schiaparelli, der erfolgreichste Marsbeobachter, dessen Bildnis wir hier oben geben, die Südpolarkappe in ihrer größten Ausdehnung etwa einen Monat vor Sommersanfang der betreffenden Marshälfte mit einem Durchmesser von 29 Breitengraden. Doch bezog sich diese Messung wahrscheinlich nicht auf die größte überhaupt dagewesene Ausdehnung, die nicht beobachtet werden konnte. Einen Monat nach Sommersanfang war der Fleck dagegen bereits auf 7 Grade zusammengeschmolzen. Er nahm damals die Lage ein, die durch die schematische Zeichnung auf S. 125, oben, veranschaulicht wird. Wir sehen in ihr gerade auf den Südpol hin, was uns in Wirklichkeit niemals möglich ist. Man erkennt hier, daß der Pol selbst nicht weiß erschien, da der Fleck in einer Richtung, die man auf dem Mars mit dem 30. Längengrade bezeichnet hat, vom Pole hinweg verschoben auftrat.

Nachdem nun der Fleck wieder in gewohnter Weise sich ausgedehnt hatte, nahm er während der folgenden Opposition von 1879 noch weiter ab als früher, wie man aus der von Schiaparelli entworfenen Zeichnung auf S. 125, unten, ersieht. Das Minimum der

Ausdehnung war diesmal nur 4 Grad; die Verschiebung vom Pol fand aber wieder in derselben Richtung statt wie vordem. Der Planiglob (s. untenstehende Abbildung) zeigt den gleichzeitigen Anblick der nördlichen Marshalbkugel, von der zwar das Gebiet vom Pol bis zum 70. Breitengrade damals nicht erforscht werden konnte, weil es jenseits der uns sichtbaren und beleuchteten Planetenscheibe lag, aber auf der man doch weiße Ausläufer erkannte, die vermuten ließen, daß so ziemlich das ganze unsichtbare Gebiet weiß überzogen sein mußte, während der weiße Fleck der Südhalbkugel fast ganz verschwunden war. Im Jahre 1894 beobachtete man sogar das völlige Verschwinden des Südpolarfleckes, was vorher noch niemals geschehen war. Am 5. Oktober 1894 hatte Douglaß in dem Instrument des Lowell-Observatoriums in Flagstaff die Kappe noch so gesehen, wie es die Zeichnung auf Seite 126 angibt. Seine Messungen ergaben die Lage des Fleckens zu 4,7 Grad vom Südpol in der Richtung des 59. Längengrades, also nahezu an derselben Stelle, wie das Minimum in früheren Oppositionen auch gesehen worden war. Der Längenunterschied von etwa 30 Grad ist in so unmittelbarer Nähe des Poles nur eine sehr geringe Größe. Am 13. Oktober war für den genannten Beobachter die Polarkappe unsichtbar geworden. Ganz unabhängig von ihm sah Schiaparelli in Mailand mit Hilfe seines 18zölligen Refraktors dieses Verschwinden, notierte es aber etwas später, offenbar weil die Beobachtungsverhältnisse für ihn noch günstiger lagen als für den amerikanischen Astronomen.

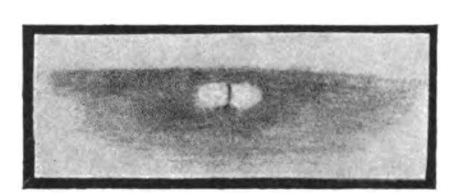


Lage des Südpolarfleckes auf dem Mars im Jahre 1877, gezeichnet von Schiaparelli. Vgl. Text, S. 124.



Polaransichten des Mars während der Opposition von 1879, gezeichnet von Schiaparelli. Vgl. Text S. 124.

Der Mailänder Forscher bemerkte in seinem Tagebuche, daß er am 21. Oktober fast nichts mehr von dem Flecke sah, daß aber erst vom 29. Oktober an jede Spur desselben verschwunden war. Dies war bereits 59 Tage nach Sommersanfang geschehen, während bei der Opposition von 1877, bei der die astronomischen Verhältnisse ähnliche waren wie in der eben erwähnten, noch 98 Tage, 1879 sogar 144 Tage, 1892 aber 78 Tage nach dem höchsten Sonnenstande der weiße Fleck in minimaler Ausdehnung sichtbar war und dann gewöhnlich auf der abgewandten Marsseite sich unseren Blicken entzog. Im Jahre 1894 hat Barnard am Lick-Refraktor Messungen des Südpolarfleckes gemacht. Er teilt mit, daß im Mai jenes Jahres, etwa 100 Tage vor Sommersanfang, auf der Südhalbkugel des Mars der weiße Fleck noch ein Gebiet von 950,000 qkm bedeckte, der Ende November, $2^1/_2$ Monate nach dem höchsten Sonnenstande, völlig verschwunden war. In den Jahren 1900 und 1901 war die Nordpolarzone sichtbar. Flammarion und Antoniadi in Juvisy bei Paris teilen aus dieser Zeit folgendes über die Veränderung der Größe des weißen Nordpolarfleckes mit: im Oktober 1900 hatte er noch eine Ausdehnung in Breite von gegen 70 Grad; es war damals gerade Frühlingsanfang dort gewesen. Januar und Februar war der Fleck auf 40 Grad, März und April auf 25 Grad, im Juli auf 15 Grad Ausdehnung herabgegangen, als etwa zwei Monate nach Sommersanfang dort verstrichen waren.



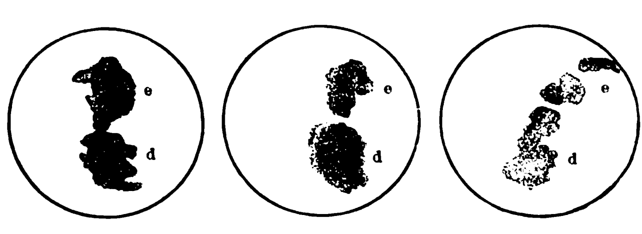
Der Südpolarfleck des Mars, gezeichnet von Douglaß am 5. Oktober 1894. Vgl. Text, S. 125.

Bei der Beschreibung dieser merkwürdigen Phänomene drängt sich uns die Ansicht auf, daß es sich bei den Polarkappen um Schneebedeckungen der Marsoberfläche handelt. In der Tat ist die Ähnlichkeit der an jenem nachbarlichen Weltkörper wahrgenommenen Erscheinungen mit den entsprechenden auf unserer Erde so auffällig, daß bis in die neueste Zeit kein Zweifel über die Gleichartigkeit der verglichenen Phänomene aufkommen zu können schien. Auch bei uns überdecken sich die Gebiete rings um die Pole im Winter mit einer weißstrahlenden Haube, die dann mit höherem Sonnenstand an Ausdehnung abnimmt und gleichfalls erst beträchtliche Zeit nach dem Sommersanfang bis zu ihrem Minimum zusammengeschrumpft ist. Auch auf der Erde fallen die kältesten Punkte nicht genau mit den geometrischen Polen zusammen; unsere Kältepole liegen sogar noch viel weiter äquatorwärts als auf Mars. Allerdings würden sie von diesem Planeten aus gesehen nicht in der Weise hervortreten wie dort, weil bei uns die Pole stets vereist bleiben.

Dieser Unterschied, in Verbindung mit der Beobachtung, daß die weiße Kappe überhaupt niemals so weit gegen den Äquator hin wächst wie bei uns, würde auf ein bedeutend milderes Klima des Mars gegenüber dem der Erde schließen lassen, wenn wir wirklich sicher sein könnten, daß diese weißen Massen auch Schnee oder Eis sind. Auch die Schnelligkeit, mit der weite Gebiete der Polarkappen „wegschmelzen", würde darauf schließen lassen, daß es sich hier nur um eine sehr dünne Schneebedeckung handelt, gar nicht zu vergleichen mit dem ungeheuern Eispanzer, mit dem sich die Pole bei uns umgeben haben. Da aber Mars, wie wir erkannt haben, um die Hälfte weiter von der allgemeinen Wärmequelle unserer Planetenwelt entfernt ist als die Erde, und der Physiker nachweist, daß die Wärmewirkung ebenso wie alle strahlende Kraft (siehe auch S. 16) im Quadrate der Entfernung

abnimmt, so wissen wir genau, daß dem Mars nur $^3/_7$ unserer Sonnenwärme zukommt, also das Klima viel strenger sein müßte, wenn man sonst dort die gleichen Verhältnisse voraussetzen dürfte wie bei uns. Wir tun also gut, wenn wir die Ansicht, die weißen Flecke auf den Polen des Mars beständen aus denselben chemischen Elementen, die sich auf der Erde zu Wasser in seinen drei Aggregatzuständen gebunden haben, vorläufig noch als ungewiß hinstellen und nur als sicher annehmen, daß auf jener noch vielfach rätselhaften Nachbarwelt ein Stoff existiert, der sich bei abnehmender Temperatur in weißer Farbe auf der Oberfläche ablagert, bei zunehmender dagegen sich wieder auflöst oder doch seine weiße Farbe verliert.

Wir wollen aber versuchen, durch die Ansammlung weiterer Beobachtungstatsachen die Lösung der interessanten Frage zu fördern. Schneit es wirklich auf dem Mars, so muß es dort auch Wolken geben, aus denen es herabschneien kann, und eine Atmosphäre, welche die Wolken gebiert und trägt, Luftströme, die aus wärmeren Gegenden die Feuchtigkeit dahin tragen, wo sie erstarrend als Schnee und Eis festgebannt werden kann, und endlich Meere, in denen das Schmelzwasser sich ansammelt. Von allen diesen Dingen vermöchte man von der Erde aus Spuren zu entdecken, wenn sie dort oben vorhanden sind. Wolken würden die Gegenden, über denen sie lagern, zeitweilig unseren Blicken entziehen oder doch einen trübenden Schleier über sie werfen; Winde müßten sich durch Bewegungen dieser Wolken verraten, die Umrisse von Land und Meer sich durch verschiedene Helligkeiten und Farben fester Flecke auf der Oberfläche erkennen lassen.



Marszeichnungen von Schröter, mit vermeintlich sich schnell bewegender Wolkenregion.

W o l k e n glaubten schon die älteren Beobachter auf Mars wahrzunehmen. Namentlich war es der Planetenforscher Schröter in Lilienthal, der Ende des 18. Jahrhunderts auf Grund sehr ausführlicher Beobachtungen mit Bestimmtheit Wolken und Winde auf Mars als nachgewiesen annahm. In 46 Fällen maß er sogar die Geschwindigkeit der Marswinde und fand sie der auf der Erde sehr ähnlich. Der stärkste Wind legte etwa 150 Fuß in der Sekunde zurück; die Westwinde sollten vorherrschen und stärker sein als die Ostwinde, wie es auch bei uns ist. Aber diese Beobachtungen bestätigten sich nicht. Schröter hatte seine Schlüsse aus dem Vorrücken gewisser Flecke, die er für Wolken hielt, gegen andere gezogen, welche die normale Umschwungsgeschwindigkeit zeigten. Dies ist aus den drei obenstehenden Zeichnungen Schröters zu ersehen, in denen e der Fleck mit normaler Geschwindigkeit, d die vom Winde getriebene Wolke nach der Ansicht Schröters bedeutet. In Wirklichkeit handelte es sich jedoch, wie später nachgewiesen werden konnte, bei fast allen diesen Wahrnehmungen um feste Oberflächendetails, die an den verschiedenen Tagen ungleich gut sichtbar waren, so daß in den mangelhaften Fernrohren jener Zeit wohl die Täuschung des Vorrückens erzeugt werden konnte. Bei späteren Beobachtern ist dann die Meinung in das Gegenteil umgeschlagen, indem man die Marsatmosphäre für eine ewig wolkenlose, fast vollständig durchsichtige Hülle nahm und gelegentliche Trübungen der Sichtbarkeit einzelner Gebiete für subjektive oder andere Täuschungen erklärte. Für die im Vergleich zu unserer Dunsthülle

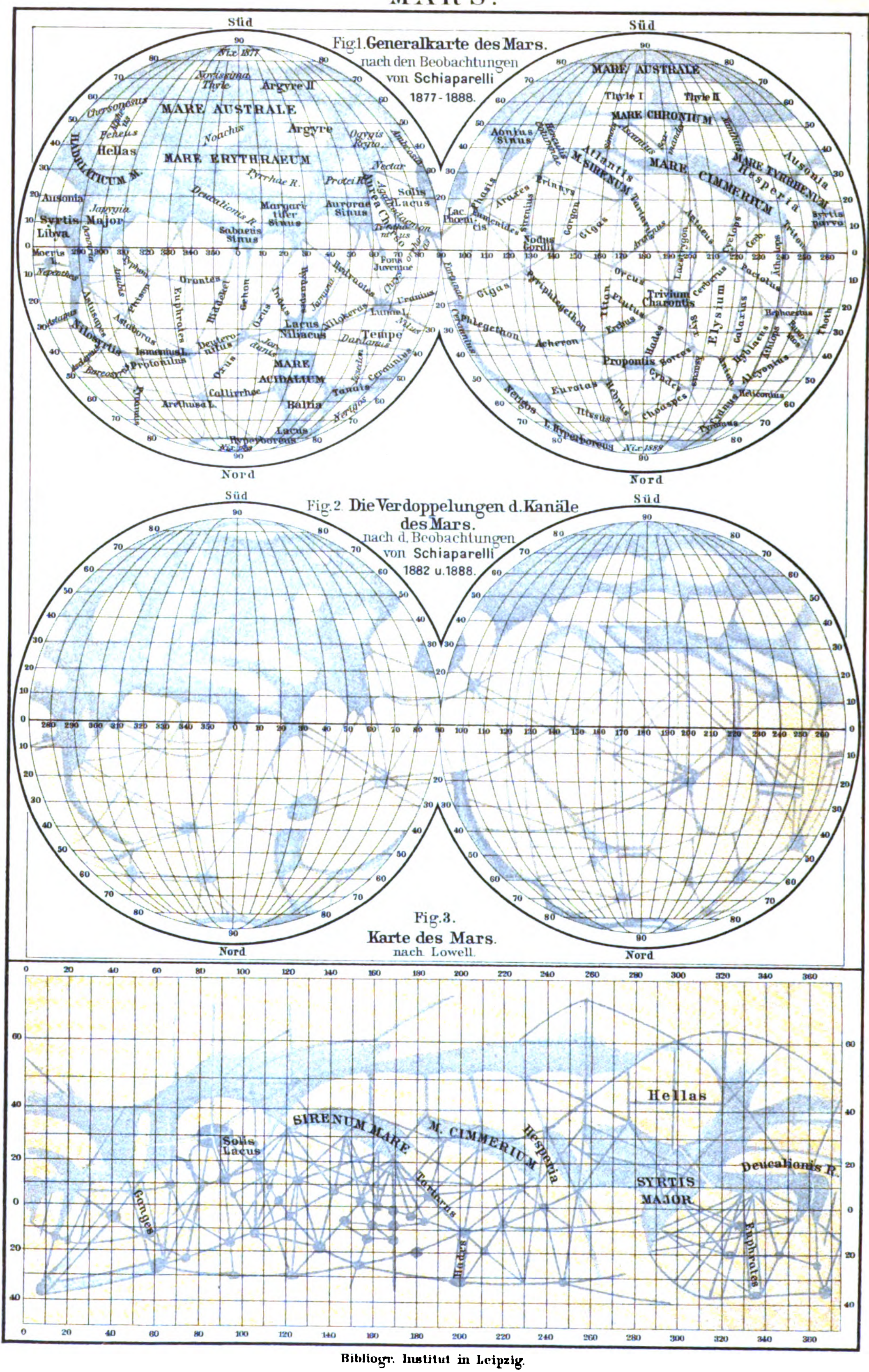
ungemein große Klarheit und Reinheit der Marsatmosphäre spricht allerdings sehr deutlich die auffallende Wahrnehmung, daß der Rand der scheinbaren Planetenscheibe nicht dunkler erscheint als die Mitte, was doch der Fall sein müßte, wenn die Marsluft auch nur annähernd soviel Licht verschluckte wie die unserige.

Aber nach den neueren Beobachtungen scheint die Wahrheit in der Mitte zwischen beiden entgegengesetzten Ansichten zu liegen. Schiaparelli hat wiederholt Marsgegenden plötzlich verschleiert gesehen. Einmal war, nachdem der Schleier verschwand, die wieder deutlich sichtbare Gegend, die vorher in rötlichgelber Farbe geleuchtet hatte, weiß geworden, und erst nach einigen Tagen nahm sie wieder ihre gewöhnliche Farbe an. Vorübergehend weiße Flecke trifft man überhaupt gelegentlich auf der Marsoberfläche bis zum Äquator hin an. Einige treten immer wieder an denselben Stellen auf, und wiederum an anderen Stellen erscheint die Oberfläche des Mars wie weißgesprenkelt; eine Unzahl von weißen Punkten flimmert vom gelben Grunde auf. Man könnte daher versucht sein, hier ein erhöhtes Terrain zu vermuten, auf dem es leichter schneit als in der Ebene, und wo auf den Gipfeln der Schnee dann länger liegen bleibt. Ein sehr interessantes Phänomen beobachtete Schiaparelli in den ersten Monaten des Jahres 1882 auf der nördlichen Halbkugel des Mars, die bis etwa zum 70. Breitengrade sichtbar war (s. die Abbildung, S. 129). Damals herrschte dort Winter. Man sah acht weiße Vorsprünge über den Rand ragen (mit I bis VIc bezeichnet). Von I, II und VIc aber gingen breite weiße Bänder aus, die, sich in Spiralen bis zum Äquator windend, unbekümmert um die anderen Konfigurationen fortliefen. Sie blieben längere Zeit an der nämlichen Stelle, verblaßten dann und verschwanden endlich, als die Sonne höher stieg. Die Windung der Spiralen entspricht aber durchaus der Richtung, in der ein irdischer, vom Pol zum Äquator eilender Wind durch die Umdrehung der Erde abgelenkt wird. Man ist also zu der Annahme verleitet, daß hier von dem Pol ausgehende kalte Luftströmungen Schneefälle, Vereisungen zur Folge gehabt haben.

Auch neuere Erfahrungen bestätigen, daß Trübungen in der Atmosphäre des Mars vorkommen. W. Pickering faßt seine hierauf bezüglichen, 1892 in Arequipa gesammelten Beobachtungen dahin zusammen, daß „Wolken unzweifelhaft auf dem Planeten existieren, daß sie jedoch in mancher Hinsicht verschieden von denen der Erde sind, namentlich was ihre Dichtigkeit und Helligkeit betrifft". Besonders bemerkte er in dem genannten Jahre, daß die Südpolarkappe lange Zeit sehr verschleiert erschien, und er sagt darüber: „Wegen des schmelzenden Schnees war die Marsatmosphäre von Wolken erfüllt." Auch Barnard bestätigte auf der Lick-Sternwarte diesen verschleierten Zustand. Dieser ausgezeichnete Beobachter sah gelegentlich einen Teil der Grenze des südlichen Polarfleckes verdunkelt, während später dieselbe Gegend wieder klar hervortrat. In Juvisy dagegen schien es 1900/01, als ob gelegentlich sich die Ränder des nördlichen Polarfleckes vorübergehend aufhellten. Diese Wahrnehmungen sprechen deutlich für meteorologische Vorgänge in der Marsatmosphäre über den Gegenden der Schneeschmelze zur Frühlingszeit.

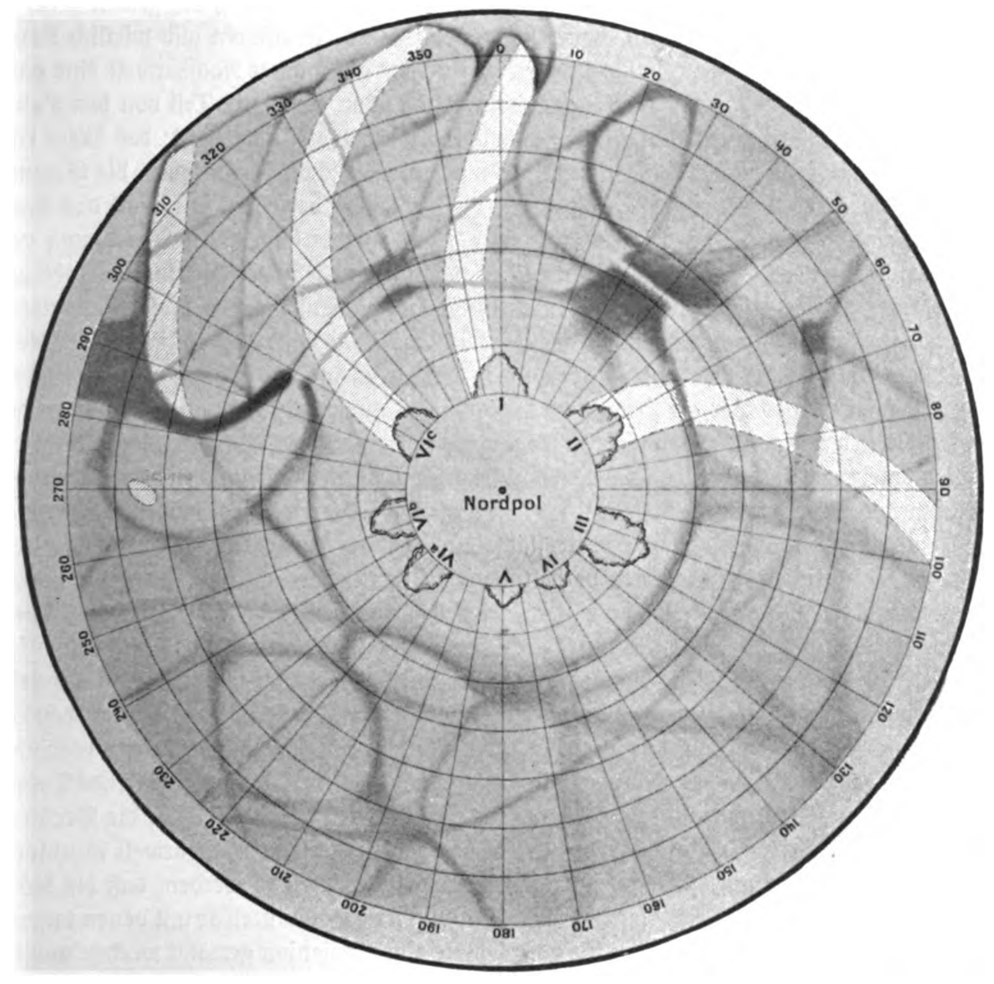
Können wir also nicht umhin, neben den weißen Niederschlägen auch Nebelbildungen über der Oberfläche des Mars als vorhanden anzunehmen, so sind wir wohl auch berechtigt, nach dem Vorhandensein von Reservoiren zu fragen, in denen das Schmelzwasser sich sammelt, und aus denen die Nebel wieder aufsteigen, um den Kreislauf zu vervollständigen. Existieren, so fragen wir weiter, Bildungen von Land und Meer auf der verwandten Nachbarwelt? Gelbrote und bläuliche Flecke, die sich in den mannigfaltigsten Gestaltungen

MARS.



Bibliogr. Institut in Leipzig.

über die Oberfläche des Planeten verteilen, scheinen auf den ersten Blick diese Frage zu bejahen. Viele Hunderte von Zeichnungen beweisen, daß jedenfalls eine große Anzahl von Gebilden auf dem Mars eine feste Lage und unveränderte Form besitzen, seit man sie beobachtet. Sie sind viel zu deutlich, um etwa für Täuschungen genommen werden zu können, wie bei Venus und Merkur. Hier befindet man sich nicht mehr an den Grenzen unseres

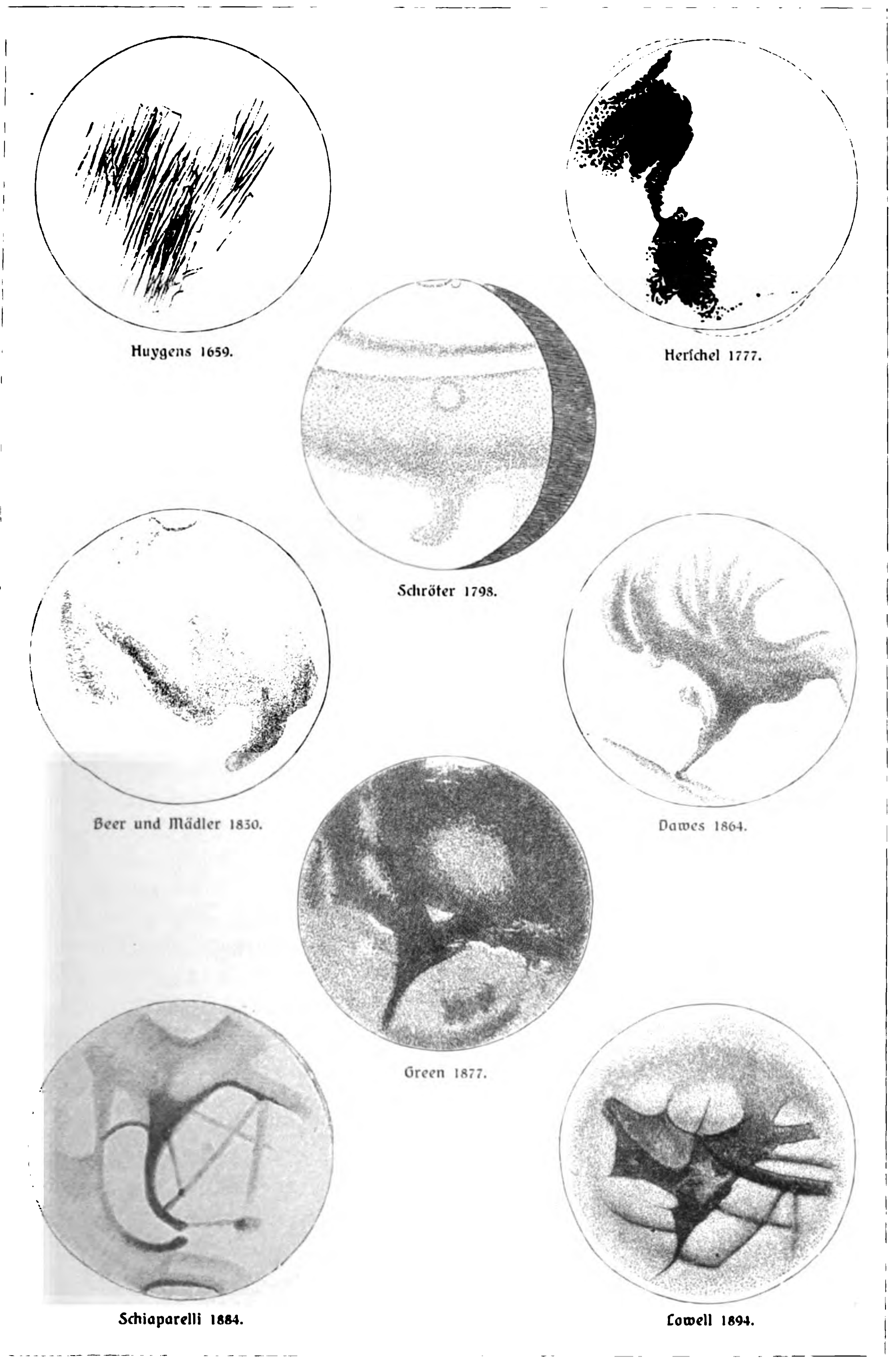


Helle Streifen auf der Nordhalbkugel des Mars, gesehen von Schiaparelli Anfang 1882. Vgl. Text, S. 128.

Wahrnehmungsvermögens. Es konnten deshalb schon seit mehr als 50 Jahren Weltkarten des Planeten entworfen werden, die sich in ihren Hauptzügen ähnlich geblieben sind, wie wesentlich auch die Hinzufügungen und Verbesserungen sind, die fortschreitende Beobachtungskunst zu den ersten Anfängen dieser kühnen Aufgabe geliefert hat. Die beste vollständige Marskarte, die bisher entworfen worden ist, bleibt immer noch die aus den Beobachtungen Schiaparellis in den Jahren 1877—88 hervorgegangene, die wir auf der Kartenbeilage wiedergeben. Die darin eingeschriebenen Namensbezeichnungen sind von Schiaparelli eingeführt und seitdem allgemein angenommen worden.

Eine Fülle wunderbarer Einzelheiten treten uns auf dieser Karte entgegen. Es ist, als ob wir einer anderen Erde gegenüberständen. Nur die bedeutungsvollsten Dinge können wir hier hervorheben. Vor allem erkennen wir schon aus den Benennungen, daß Schiaparelli, und mit ihm fast alle anderen Marskenner, die gelblichen Gebiete für Landmassen, die bläulichen für Meere hält, ohne jedoch damit die völlige Vergleichbarkeit mit den irdischen Verhältnissen vorweg behaupten zu wollen. Wir sehen, daß die gelben Gebiete an Ausdehnung die blauen bei weitem übertreffen. Sind die ersteren also wirklich Land, so ist die Verteilung des festen und flüssigen Elementes auf unserer Nachbarwelt eine ganz andere als bei uns. Während auf der Erdoberfläche kaum der vierte Teil von den Landfesten eingenommen wird, ist auf Mars das Verhältnis nahezu umgekehrt; das Meer tritt wesentlich zurück zugunsten des Landes. Da nun, wie wir schon früher sahen, die Gesamtoberfläche des Mars nur etwa so groß ist wie die Festländer der Erde, so nimmt das Land dort im ganzen nicht viel weniger Raum ein als das auf der Erde. Die Anordnung von Land und Meer ist gleichfalls auf den beiden Weltkörpern sehr verschieden. Es gibt auf Mars keine Kontinente, sondern nur eine einzige, zusammenhängende große Landmasse. Die ganze Nordhalbkugel besteht fast ausschließlich aus Land, und das einzige große Meer des Mars umspült den Südpol. Aber auch in diesem scheint das Wasser, wenn es überhaupt Wasser ist, das hier die Oberfläche bedeckt, meist nur wenig tief zu sein, denn an gewissen Stellen, die z. B. auf unserer Karte mit Deucalionis Regio, Pyrrhae Regio, Argyre, Hellas bezeichnet sind, sieht es so aus, als ob das Land durch die bläulichen Fluten hervorschimmerte, als ob hier ausgedehnte Untiefen, Sandbänke vorhanden wären, und auch an anderen Stellen hat die Meeresfläche ein scheckiges Aussehen. Die beständig tiefblauen Gebiete nehmen nur einen verhältnismäßig kleinen Raum ein. Zu diesen gehört vornehmlich die Syrtis Major, die, abgesehen von den weißen Polarkappen, überhaupt als das auffälligste Objekt auf der Marsoberfläche gelten muß, das fast von allen Beobachtern in gleicher Weise gesehen, beziehungsweise gezeichnet worden ist. Es wurde früher wohl auch Dawes-Ozean oder wegen seiner zugespitzten Form das Sanduhr-Meer (**Hourglass-Sea**) genannt. Es ist interessant, eine Anzahl von Zeichnungen dieses Gebietes von verschiedenen Beobachtern chronologisch zusammenzustellen (s. die nebenstehende Tafel). Wir bemerken dabei zugleich den ungeheuern Fortschritt, den seit 200 Jahren die Beobachtungskunst gemacht hat, und wie sich entsprechend das Bild unserer Nachbarwelt in unserer Kenntnis vervollständigte. Es braucht kaum darauf hingewiesen zu werden, daß die direkt am Fernrohr gemachten Zeichnungen in ihren Konturen nicht unmittelbar mit denen unserer Karte verglichen werden dürfen, da für diese letztere eine Projektion gewählt werden mußte, die die Randpartien unverkürzt wiedergibt. In Wirklichkeit erkennen wir auf der Planetenscheibe nur in ihrer Mitte die Gegenstände in der Form, wie sie die Karte zeigt; je mehr wir uns dem Rande nähern, unter desto schrägeren Gesichtswinkeln sehen wir alle Oberflächendetails, desto mehr verkürzt erscheinen sie.

Einige Marsforscher, insbesondere W. Pickering, halten nur diese dauernd dunkeln Gebiete für wirkliche Meere; die anderen, nur im großen und ganzen dunkleren Stellen dagegen seien von einer Art „amphibischer“ Natur, d. h. weder Land noch Meer, sondern abwechselnd das eine und das andere. In der Tat wechseln diese Gebiete ihre Form und Farbe oft sehr bedeutend, so daß es den Anschein hat, als fänden zu gewissen Zeiten ungeheure Überschwemmungen auf Mars statt, für deren Ausdehnung wir auf der Erde kein



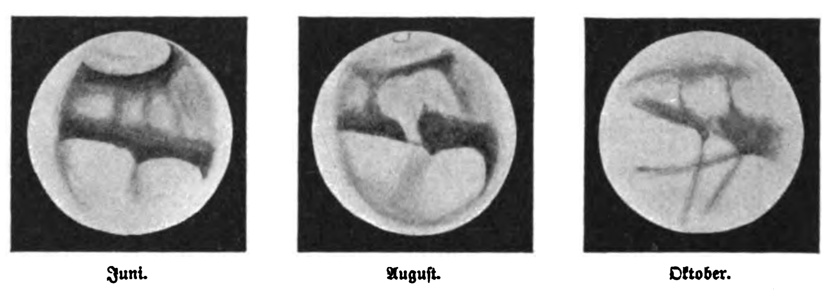
Die Große Syrte auf dem Mars, nach den Beobachtungen von drei Jahrhunderten.

Beispiel kennen. Die Grenzen zwischen Meer und Land sind auf jenem Planeten offenbar weit weniger fest gezogen als auf unserem Wohnsitze. Gewaltige Verschiebungen der Küstenlinien, Veränderungen mancherlei Art, von denen noch später die Rede sein wird, folgen dem Jahreszeitenwechsel und der Schmelze der Polarkappen auf dem Fuße. Gleichzeitig laufen damit Veränderungen der Farbe namentlich der dunkleren Gebiete parallel, die in den Jahren 1890, 1892 und 1894 von W. Pickering eingehend studiert worden sind. Nach diesem Beobachter treten oft erstaunlich schnelle Farbenveränderungen auf dem Planeten auf, die nur zum Teil dem Einfluß einer eigenen Atmosphäre zuzuschreiben sind. Pickering führt an, daß, wenn man das Grün einer irdischen Landschaft von einem Berg aus betrachtet, es natürlich viel weniger grün als in der Nähe erscheint, und daß, wenn der Schatten einer Wolke oder Nebel davortreten, es sich in ein ebenmäßiges Grau verwandelt, wie man es gelegentlich auch auf Mars beobachtet. Der nordwestliche Teil der Großen Syrtis erschien zu verschiedenen Zeiten grau, grün, blau, braun und selbst violett. Wenn dieses Gebiet um die Zeit der Herbstnachtgleiche der nördlichen Halbkugel sich im Mittelpunkte der Scheibe befindet, so ist die östliche Region deutlich grüner als die westliche; wenn die Jahreszeit zu Ende geht, wird die Farbe matter, und der grüne Hauch erscheint nur noch unmittelbar an den Küstensäumen. Am 27. Juni 1890, wenige Tage vor dem Frühlingsäquinoktium der südlichen Halbkugel, erschien ein gelber Fleck im östlichsten Norden des Dreiecks der Syrte; mit der vorrückenden Jahreszeit nahm dieser Fleck zu, bis er das ganze Gebiet überzog. Im Jahre 1892 erschien dieselbe Region zuerst völlig grün; am 9. Mai, das ist ungefähr zwei Wochen vor der Frühlingsnachtgleiche, tauchte dagegen der gelbe oder vielleicht rote Fleck wieder an der nämlichen Stelle auf wie im Jahre 1890 und konnte seitdem weiter verfolgt werden.

Das Aussehen des Planeten während seines Jahreszeitenwechsels wird auch von Parcival Lowell nach seinen Wahrnehmungen im Jahre 1894 fesselnd beschrieben. Er sagt: „Sobald die Schneeschmelze im Gange war, erschienen in den dunkeln Regionen lange Streifen von noch dunklerer Färbung. Ich sah sie zwar nicht kommen, aber da ich sie gehen sah, ist es unzweifelhaft, daß sie gekommen sein müssen. Der auffälligste derselben lag zwischen Noachis und Hellas im Südmeer und durchsetzte dann das Mare Erythräum bis zur Syrtis. Der nächstauffällige kam zwischen Hellas und Ausonia herab. Obgleich diese Streifen sehr deutlich dunkler waren als die Meere, durch welche sie zogen, waren diese letzteren doch in ihrem dunkelsten Zustande. Die Tatsache, daß die Streifen die sogenannten Meeresflächen durchzogen, erweckt neue Zweifel darüber, ob diese Mareregionen wirkliche Meere sind. Nun blieben die dunkeln Regionen eine Zeitlang nahezu unverändert, während der Schmelzprozeß der Schneekappe am intensivsten war. Dann begann eine Periode des Auftrocknens. Ihre helleren Partien wurden noch heller, ihre dunkeln weniger dunkel. Jede erdenkliche Abtönung war vertreten. Es war für diese Epoche namentlich sehr bezeichnend, daß man nicht imstande war, irgend eine Kontur der Inselketten im Südmeere festzuhalten. Die helleren und dunkleren Partien flossen unerkennbar ineinander. Im Vergleich mit den Marskarten waren diese Gebiete von einer Sintflut überlagert, nicht direkt, aber indirekt: wahrscheinlich befanden sie sich in verschiedenen Stadien vegetabiler Fruchtbarkeit infolge einer vergleichsweise geringen Wassermenge, von der sie überschwemmt wurden. Die Farbe jener dunkleren Gebiete war damals für mein Auge ein unzweifelhaftes Blaugrün. Dies blaßte dann allmählich ab und machte einem Orangegelb Platz .... Bei all

diesen interessanten Wandlungen, die im Laufe der Jahreszeiten das Antlitz des Mars zeigt, sind es die großen Kontinentalmassen allein, die, nimmt man hier und da einige Helligkeitsschwankungen aus, nahezu unverändert bleiben. Gleich den rötlichen Wüstenregionen unserer Erde ist ihre Farbe und Unwandelbarkeit ein Hinweis auf einen ähnlichen Charakter derselben. Sie verändern sich nicht, weil sie schon die Möglichkeit dazu verloren haben." Lowell gibt zu diesen Mitteilungen unter anderen die folgenden drei Zeichnungen der Umgebung der Hesperia, die das Phänomen des „Austrocknens", wie er es nennt, sehr schön veranschaulichen.

Lowell und mit ihm auch W. Pickering ist also der Ansicht, die sogenannten Meere seien nur tiefer liegende Gebiete, Niederungen, zu denen das Schmelzwasser zuerst gelangt, um das Erdreich, den Nilüberschwemmungen ähnlich, allsommerlich neu zu befruchten. Ihre dunkle Farbe verdanken sie nach dieser Ansicht nicht dem Wasser, sondern einer mit den Jahreszeiten wechselnden und von den Überschwemmungen Nutzen ziehenden Vegetation. Im allgemeinen bietet hiernach Mars das Bild einer wasserarmen Welt dar,



Juni. August. Oktober.

Marslandschaft „Hesperia", gezeichnet 1894 von Lowell.

deren Kontinente bereits als tote Wüsten regungslos daliegen, während einstmals und auch heute noch zeitweilig von Wasser bedeckte Meeresbecken die Zufluchtsorte des Lebens geworden sind. Wir müssen auf diese Fragen später noch eingehen, wenn es uns gelingt, aus der Entwickelungsgeschichte der Gestirne weitere Argumente dafür abzuleiten, daß eine allmähliche Abnahme des Wassers auf den Himmelskörpern einem wahrscheinlichen Gange der Ereignisse entspricht.

Ist die letztere Ansicht die richtige, so müßten jedenfalls jene eigentümlichen Streifen, welche die Landgebiete durchziehen, und die man bisher Kanäle nannte, eine ganz andere Erklärung finden, als durch ihre Benennung angedeutet ist. Die Sichtbarkeit dieser Kanäle befindet sich allerdings nun wieder größtenteils an der Grenze unseres Auffassungsvermögens und sind in neuerer Zeit von englischen Forschern überhaupt für optische Täuschungen erklärt worden. Wir werden hierauf zurückkommen, nachdem wir das Phänomen selbst näher kennen gelernt haben. Als wirklich angenommen sind diese Kanäle jedenfalls das Wunderbarste von allem, was die Oberfläche des Mars darbietet, ja vielleicht eins der bedeutungsvollsten Zeichen, die uns der Himmel gibt. Sie laufen schnurgerade durch die Landflächen, immer bei einem Meere beginnend und in einem anderen Meere, einem Binnensee oder einem Kreuzungspunkte mit einem oder mehreren anderen Kanälen endigend. Niemals beginnt oder endigt einer derselben im offenen Lande, niemals machen sie schlängelnde Windungen, wenn auch bei einigen elegante Krümmungen vorkommen. Der ganze Habitus

aber hat jedenfalls keine entfernte Ähnlichkeit mit einem Flußlaufe. Sie bilden ein wundersames System von Verbindungen, das nicht zweckentsprechender hätte angelegt werden können, wenn es unter irdischen Verhältnissen dem Verkehr zwischen jenen vermeintlichen Wasserflächen dienen sollte. Da nun die Natur bei uns bisher keinerlei Gebilde geschaffen hat, die sich unmittelbar den Bedingungen leichtesten Verkehres anpassen, so liegt beim Anblick dieses verzweigten Liniensystems die Vermutung nahe, es für die Schöpfung intelligenter Wesen zu halten.

Unsere Betrachtungen spitzen sich also naturgemäß im wesentlichen auf die beiden Fragen zu: Ist es möglich, diese Oberflächengestaltungen nach irdischen Vergleichen aus der Wirkung von Naturkräften allein entstanden zu denken, oder, falls diese Frage verneint werden muß, können wir uns das Zustandekommen dieser geradlinigen Gebilde durch Wesen unserer Art erklären? Die Annahme von unbekannten Naturkräften oder von Wesen, deren Fähigkeiten die unsrigen in für uns undenkbarer Weise übersteigen, müssen wir von vornherein von uns weisen; denn solche Annahmen würden für uns keine faßbaren Erklärungen abgeben. Solche Kräfte und dergleichen Wesen wären für uns an sich unbegreiflich; man kann mit ihnen alles und deshalb nichts beweisen. Wir würden uns hierbei überhaupt nicht weiter aufgehalten haben, wenn nicht in der Tat von verschiedenen Seiten solche, für uns zunächst noch übersinnliche Argumente in Betracht gezogen worden wären. Das Unbegriffene aber mit dem Unbegreiflichen zu erklären heißt doch, sich das Spiel gar zu leicht machen. Betrachten wir, bevor wir an die Beantwortung der obigen Fragen gehen, die hauptsächlichsten Erscheinungen dieser rätselhaften Gebilde.

Am auffälligsten für den ersten Blick ist die Anordnung der Kanäle auf der Insel Hellas, die genau südlich über der Großen Syrtis liegt. Zwei „Kanäle“ durchkreuzen diese Insel, der eine fast genau nordsüdlich, der andere ostwestlich orientiert, so daß sie einander im rechten Winkel in der Mitte der Insel treffen. Zeitweilig ist einer der so entstehenden Quadranten „überschwemmt“; dann reicht die Verdunkelung immer genau bis zu den beiden begrenzenden Kanalläufen. Eine andere Seltsamkeit zeigt die Thaumasia genannte Gegend. Sie gehört zwar zu der großen Festlandmasse, wird aber von ihr durch einen gebogenen Kanal getrennt, so daß sie mit ihrer Begrenzung gegen das Südmeer hin eine fast genau kreisrunde Fläche bildet. Nahezu in ihrer Mitte befindet sich ein ziemlich ausgedehnter, wiederum kreisrunder, dunkler Fleck, der Sonnensee (Lacus Solis). Dieser ist einerseits durch einen von ihm aus genau südlich verlaufenden Kanal mit dem Südmeer verbunden, während zwei andere Linien eine Verbindung des großen Binnensees mit dem die Region nach Norden hin begrenzenden Laufe herstellen. Es hätte keine zweckmäßigere Anordnung gefunden werden können, wenn es darauf ankam, den Verkehr zwischen dem Sonnensee und dem Weltmeer einerseits und dem verzweigten Kanalsysteme des Festlandes anderseits zu vermitteln. Auch wo im Innern des Festlandes mehrere Kanäle zusammentreffen, erweitert sich ihr Kreuzungspunkt oft zu einem kleineren oder auch ausgedehnteren See, wie wir vielfach auf unserer Karte sehen können.

Höchst erstaunlich ist nun die bedeutungsvolle Ordnung, die das Kanalsystem als Ganzes aufweist. Während sich nämlich die Kanäle unter allen möglichen Winkeln schneiden können, ist doch immer eine Anzahl von ihnen untereinander parallel, beziehungsweise so zu den Meridianen des Marsglobus gestellt, daß sie auf der entsprechenden Kartenprojektion parallel erscheinen. Alle Kanäle eines solchen Systemes treffen die eines zweiten Parallel-

systemes immer unter demselben Winkel. Genau nordsüdlich streicht beispielsweise unter dem 240. Längengrade der den zwölften Teil des ganzen Planeten umfangende, also über 5000 km lange oder etwa dem Wege von Rom bis Petersburg gleichkommende Äthiops. Mit ihm parallel laufen der Galaxias, der über 80 Breitengrade sich hinziehende Euphrates, Anubis, Astusapes und der vorhin erwähnte Kanal auf Hellas, Alphäus genannt. Zu diesem System im rechten Winkel verlaufen nur wenige Kanäle, so der zweite Kanal auf Hellas dann ziemlich nördlich der Heliconius, der etwas gebogene Callirrhoe. Etwa senkrecht gegen dieses System gerichtet, nur wenig nach Südwesten verschoben, befindet sich ein sehr reiches Kanalnetz, dessen nordsüdlich verlaufende Parallellinien von Westen nach Osten hin folgende sind: Lethes, Cyclops, Hades-Laestrygon, Titan, Gorgon, Sirenius, Iris, Gehon. Noch etwas weiter nach Südwesten geneigt sind Jamuna, Oxus, Hiddekel, Phison, und mit diesen läuft parallel das Westufer der Großen Syrtis. Dieser ausgedehnte Meerbusen verengert sich nach Norden hin in die Nilosyrtis, die gegen das eben erwähnte Ufer in elegantem Bogen genau um 90 Grad abschwenkt, also nun auf dem angeführten Kanalsysteme senkrecht steht. Zu ihm parallel gehen Astaboras, Typhon, Jordanis, Hydraotes-Nilus und endlich der ungemein lange Pyriphlegethon, der den unter dem 45. Grade nördlicher Breite gelegenen Binnensee Propontis auf schnurgeradem Wege mit dem zwischen 20 und 30 Grad südlicher Breite liegenden Sonnensee verbindet.

Noch etwas mehr geneigt und nun mit den Längen- und Breitenkreisen fast genau einen Winkel von 45 Grad bildend, verläuft das ausgeprägteste und interessanteste Wasserlaufsystem. Ihm gehören die höchst eigentümlichen, langgestreckten Meere der Südhalbkugel an, die zwischen sich lange Landzungen und Isthmen lassen, so daß es scheint, als ob jene Meere weiter nichts seien als überschwemmtes Land zwischen je zwei Parallelkanälen, die nun die Uferlinien bilden, wie wir es schon bei dem Hellasquadranten sahen. Dieses System ist durch die mit Mare Tyrrhenum, Cimmerium, Sirenum benannten dunkeln Regionen charakterisiert, zwischen denen die hellen Hesperia und Atlantis liegen. Ihnen parallel sind noch, östlich von Thaumasia, die Regionen Pyrrhae und Deucalionis. Im Inneren der Landmasse laufen in gleicher Richtung mit den Ufern jener Meere, wenngleich weit von ihnen entfernt, die langen Linien des Eumenides und Phlegethon. Senkrecht zum Mare Sirenum stehen Cerberus, Avernus, Gigas, Araxes.

Nehmen wir vorweg an, die Erklärung dieses Parallelismus in dem gesamten Kanalsystem sei gegeben, so kann uns die Erscheinung nicht verwundern, daß innerhalb der Parallelsysteme einzelne Kanäle verdoppelt auftreten, so daß zwei dunkle Linien statt einer dort nebeneinander herlaufen. Die von Schiaparelli beobachteten Verdoppelungen sind auf dem zweiten Planiglob unserer Beilage wiedergegeben. Diese Verdoppelungen sind jedenfalls aus der gleichen Ursache wie der übrige Parallelismus der Kanäle zu erklären. Unsere Karte der verdoppelten Kanäle weist fast ausschließlich solche Kanäle auf, die den großen, soeben angeführten Parallelsystemen angehören; so erschienen z. B. damals zugleich mit dem Mare Cimmerium, das durch eine langgestreckte Insel in zwei parallele Meeresarme getrennt war, die wiederum dazu parallelen Eumenides, Hydraotes und Astaboras verdoppelt, desgleichen die zum Mare Sirenum senkrechten Cerberus, Avernus und Gigas.

Alle diese Verdoppelungen sind nur zeitweise sichtbar, ebenso wie der Anblick des ganzen Kanalsystemes sich fortwährend ändert. Binnen weniger Wochen oder selbst Tage kann ein Kanal oder seine Verdoppelung auftreten oder gänzlich verschwinden. Der Anblick einer

Landschaft kann sich dadurch sehr verändern. Schiaparelli schildert den geheimnisvollen Vorgang der Verdoppelung folgendermaßen: „Ziemlich häufig habe ich gesehen, wie sich die beiden Linien aus einer grauen, mehr oder weniger dichten, in der Richtung des Kanals sich verbreitenden Nebelmasse gleichzeitig loslösten, und mir scheint es fast, daß dieser nebelhafte Zustand eine hauptsächliche Erscheinung bei der Bildung der Verdoppelung ist. Aber man darf daraus nicht schließen, daß es sich hier um Objekte handelt, die in einer Art von Nebel verborgen bleiben und dann nach dessen Verschwinden sichtbar werden. Soweit ich die Sache beurteilen konnte, ist das, was hier als Nebel erscheint, keineswegs ein Hindernis, vorher vorhandene Objekte zu sehen, sondern vielmehr eine Materie, in der sich die vorher nicht vorhandenen Formen abzeichnen. Um meinen Gedanken deutlicher auszudrücken, möchte ich sagen, daß der Prozeß nicht zu vergleichen ist mit dem deutlicher werdenden Hervortreten von Objekten aus einem sich auflösenden Nebel, sondern vielmehr mit einer Menge unregelmäßig verteilter Soldaten, die sich nach und nach in Reihen und Kolonnen ordnen. Ich muß hinzufügen, daß dieses nur als ein Eindruck zu betrachten ist und nicht etwa als durchdachtes Resultat eigentlicher Beobachtungen."

Wenn wir nun zur Beantwortung unserer oben gestellten Fragen übergehen, so lautet die erste Frage: Ist es möglich, die Kanäle als Naturprodukte aus uns bekannten Erscheinungen zu erklären? Ein auffälliges Gegenstück dafür fehlt auf unserer Erde jedenfalls. Flüsse können es nicht sein, wie wir schon andeuteten. Es gibt keine so geradlinig verlaufenden Flüsse; sie beginnen alle mitten im Lande als unscheinbare Bäche und nehmen Seitenflüsse in sich auf, wodurch sich ihr Bett bis zur Mündung beständig erweitert. Die Kanäle des Mars sind dagegen gleichbreit von ihrem Anfang bis zu ihrem Ende, und zwar haben sie eine von unseren mächtigsten Flüssen nicht erreichte Breite. Der breiteste dieser Kanäle, die Nilosyrtis, mißt von einem Ufer zum anderen nicht weniger als 300 km, was der Ostsee an ihrer breitesten Stelle gleichkommt. Die meisten der das Land oft bis auf mehr als den vierten Teil des gesamten Planetenumfangs durchziehenden Kanäle haben aber immer noch die ansehnliche Breite von etwa 60 km; sie sind also ungefähr so breit wie der Finnische Meerbusen oder die Öffnung des Kattegat. Die allerfeinsten Linien, die man auf Mars unter günstigsten Bedingungen noch sehen kann, sind sicher nicht schmäler als 30 km. Der Amazonenstrom erreicht diese Breite erst kurz vor seiner Deltabildung, mißt aber in seiner breitesten Entwickelung im Landinneren nicht über 15 km. Wären also die Kanäle des Mars Flußbetten in einem uns verständlichen Sinne, so müßten sie auf einen so ungeheuern Wasserreichtum hindeuten, wie wir ihn durch anderweitige Beobachtungen in keiner Weise bestätigt finden.

Eben diese beträchtliche Breite ist es stets gewesen, die begründete Zweifel darüber entstehen ließ, daß diese Objekte überhaupt Wasserläufe, auch in dem Sinne unserer irdischen Kanäle, sein könnten. Ganz anders gestalten sich die Dinge, wenn man zur Erklärung die organische Natur zu Hilfe nimmt. Die Erscheinungen der organischen Welt sind so unendlich mannigfaltig, verwickelt und wunderbar, daß man sich von ihr alles versehen kann. Es sei hier z. B. der Wahrnehmung des Reisenden Mizon gedacht, der erzählte, daß gewisse Wüstengebiete Afrikas bis auf 400 km von ganz geraden streifenförmigen Gebieten durchzogen werden, die mit Vegetation überdeckt sind, also dunkler als das umliegende Sandmeer erscheinen und in ihrem ganzen Habitus wohl, aus planetarischer Entfernung gesehen, den Eindruck von Marskanälen machen könnten. Längs dieser Streifen wandern die Affen

von Oase zu Oase und streuen allerhand Samen auf ihrem Wege aus, der ihre Straße im Laufe der Jahrhunderte grün umkränzt hat. Wie treffliche Straßenbauer andere Wandertiere sind, sehen wir allerorten auf der Erde; wir erinnern nur an das Ameisenvolk und an die Verbindungswege, welche die Biber und andere gesellig in Erdwohnungen lebende Tiere, wie der Präriehund und das ganz Nordamerika bevölkernde Erdkätzchen, zwischen ihren Höhlen durch ihren regen Verkehr untereinander erzeugen. Alle diese Wege sind, wenn nicht Terrainschwierigkeiten dies unpraktisch erscheinen lassen, schnurgerade. Man könnte auch an ausgedehntere Wanderungen größerer, weidender Tiere denken, die auf Mars wie unsere Zugvögel an den Wechsel der Jahreszeiten gebunden sind. Die frühjahrliche Belaubung der Vegetation auf diesen Wanderstraßen würde das Erscheinen der „Kanäle" erklären. Aber all diese Versuche scheitern an dem wunderbaren Parallelismus, an der systematischen Ordnung dieser Straßen. Wandern auch viele Tiere auf geraden Straßen den Gebieten zu, die ihnen zeitweilig reichlicheren Lebensunterhalt bieten, so ist doch keine Möglichkeit abzusehen und kein Vergleich auf der Erde dafür zu finden, daß diese Wanderung in den verschiedensten Weltteilen genau parallel stattfindet, oder daß die Kreuzung der Wege unter ganz bestimmten Winkeln geschieht. Nur eine gemeinsame Wirkung aller dieser Wesen aufeinander kann solch ein System erzeugen. Diese gemeinsame Wirkung aber, die Gruppen von Wesen zu gemeinschaftlichen Werken zusammenschließt, nennen wir, auch wenn sie in beschränkter Weise bei Tieren auftritt, Intelligenz.

So kommen wir endlich zu der uns unabweislich erscheinenden Überzeugung, daß es nur intelligente Wesen sein können, die diese Marskanäle direkt oder indirekt schufen. Und weiter müssen wir überzeugt sein, angesichts des den ganzen Planeten nach einheitlichem Plan umfassenden Straßennetzes, daß es Wesen von sehr hoher Intelligenz sind, deren Werke uns aus Weltkörperentfernung entgegenleuchten.

Mögen wir uns diese Verbindungen als Wasserstraßen, als wirkliche Kanäle oder als Landstraßen denken, immer muß uns doch die ungeheure Breite derselben stutzig machen, die uns das Verständnis für ihre sonst so ökonomische Anlage wieder erschwert. Da wir, um uns nicht in Phantasiegespinste zu verstricken, nur Verhältnisse anerkennen wollen, die ihre Seitenstücke auf der Erde haben, so würden wir die gesteckten Grenzen beträchtlich überschreiten, wenn wir die Möglichkeit zulassen wollten, die intelligenten Wesen auf Mars könnten Kanäle oder Landstraßen von 30 und mehr Kilometer Breite geschaffen haben. Das übersteigt unsere Fassungskraft, sowohl was Arbeitsleistung, als auch was die Begründung ihrer Notwendigkeit betrifft. Aber es läßt sich unschwer zeigen, daß eine Verbreiterung zuerst normal angelegter Straßen ohne das Zutun ihrer Erbauer auf jenem Planeten eintreten konnte, ja unter Umständen selbst gegen ihren Willen eintreten mußte. Nehmen wir an, es seien in der Richtung, in der wir heute die breiten Linien verlaufen sehen, wirkliche Kanäle von normaler Breite geschaffen worden. Durch diese strömt, wenn auf der einen Halbkugel die Schneeschmelze beginnt, das überschüssige Wasser zur anderen Halbkugel, oder doch von den Meeren und den Tiefebenen, die dann zeitweilig zu Meeren werden, in das Land. Dieser Wassertransport durch die Kanäle muß sehr beträchtlich sein, da die gelblich leuchtenden Massen, die wir nach dieser Ansicht für unfruchtbares, dürres Wüstenland erklären müssen, einen geschlossenen Gürtel rings um den Planeten herum bilden, der durch kein offenes Meer unterbrochen ist. Die ungeheure Wasserbewegung, die bei uns alljährlich zwischen der Sommer- und der Winterhalbkugel stattfindet, und die auf Mars wohl schwächer,

aber doch noch immer sehr bedeutend sein muß angesichts der großen Ausdehnung der Polarkappen, drängt sich dort notwendig durch die Kanäle und wäscht sie beständig weiter aus. Ist das gelbe Land des Mars wirklich sandiges Wüstengebiet, so werden diese Auswaschungen bald sehr große Ausdehnungen annehmen, und es entstehen längs dieser Kanäle Strecken wie die fruchtbaren Gefilde, die alljährlich der Nil überschwemmt. Üppige Vegetation siedelt sich hier an und erobert immer weitere Gebiete des toten Wüstenlandes zu beiden Seiten der Kanalufer. Wenn im Frühjahr die Kanäle sich neu mit Wasser füllen, dann beginnt auch die Vegetation sich zu regen; die Bäume belauben sich dunkel, der Lauf des Kanales, der an sich viel zu schmal ist, als daß wir ihn wahrnehmen könnten, wird uns die erwachende Natur verraten, die ihr Leben ihm allein verdankt. Das Auftreten eines Kanales wäre hierdurch einfach und analog mit irdischen Verhältnissen erklärt.

In diesem Sinne hat Lowell, namentlich nach den Ergebnissen der relativ günstigen Opposition von 1903, eingehende Studien über die Klimatologie des Mars veröffentlicht,



20. Februar. 13. März. 15. März.

Änderungen der Marsoberfläche und ihrer Kanäle mit der Jahreszeit, 1903. Nach Lowell.

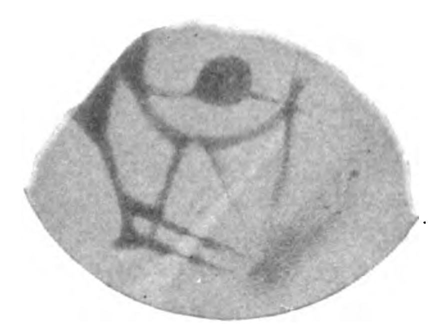
wozu er allein 375 vollständige Darstellungen des Planeten benutzte, die zwischen dem 21. Januar und 26. Juli 1903 an dem großen Fernrohr gewonnen wurden, und auf der 85 Kanäle einer genauen Untersuchung auf ihre wechselnde Sichtbarkeit unterworfen werden konnten. Er stellte dabei fest, daß diese Sichtbarkeit ganz regelmäßig vom Pol nach dem Äquator, von Sommersanfang beginnend, fortschreitet. Er fand z. B., daß in der subarktischen Zone die „Kanäle" 13 Tage, in der gemäßigten Zone 22, in der subtropischen 34, in der nördlichen äquatorialen Zone 43 Tage nach dem höchsten Sonnenstande sichtbar wurden. Dieser Prozeß aber setzte sich nun merkwürdigerweise auch noch weiter über den Äquator fort: in der Südäquatorialzone wurden diese Streifen 56 und in der südlich subtropischen Zone erst 95 Tage nach dem höchsten Sonnenstande der Nord halbkugel sichtbar. Nach diesen Beobachtungsergebnissen des eifrigsten aller gegenwärtigen Marsforscher (denn der alternde Schiaparelli hat längst das Beobachten aufgeben müssen) schreitet also das Aufblühen der Vegetation auf dem Mars in umgekehrter Richtung fort wie auf der Erde, von den Polen zum Äquator, was aus den uns sonst bekannten Verhältnissen des Mars erklärlich wird, wo das meiste Land sich schon im Wüstenzustande befindet und die Wiederbelebung der Vegetation von dem Eintreffen der Bewässerung abhängt. Ganz das Gleiche beobachten wir im Niltal, das, gleichfalls in ein Wüstengebiet eingeschnitten, für einen außerirdischen Beobachter in der Tat ein ganz ähnlich wechselndes Aussehen zur Schau

tragen würde. Das den Nil umgebende Vegetationsgebiet hat eine durchschnittliche Breite von 20 km und wird also auch in diesen Abmessungen einem „Kanal" des Mars ähnlich. Das Hochwasser beginnt am oberen Nil etwa Anfang September und braucht 4—6 Wochen, um das Delta zu erreichen. Die Felder beginnen sich erst zu begrünen frühestens zwei Monate nach dem höchsten Sonnenstande, und das Vegetationsgebiet schreitet nach Norden weiter, während die Sonne nach Süden wandert; es zeigt sich also in erster Linie abhängig von der Bewässerung, was wir am Nil unmittelbar verstehen. Daß sich aber auf dem Mars diese Vegetationserscheinung noch über den Äquator hin auf die andere Halbkugel in ein äquatoriales Gebiet ausdehnt, das, soweit die Sonne in betracht kommt, von einem Jahreszeitenwechsel kaum betroffen werden kann und sich außerdem in seinem Winterhalbjahr befindet, glaubt Lowell auf natürliche Weise nicht erklären zu können. Er ist davon überzeugt, daß nur künstliche Bewässerungsanlagen auch noch bis in diese Gebiete das befruchtende Naß befördern könnten. Betrachtet man innerhalb dieses Gedankenkreises das ungeheuere Nilstauwerk bei Assuan, das die vorsorgliche Intelligenz des Menschen zur besseren Ausnutzung des doch immer noch großen Wasserreichtums des Nil geschaffen hat, so kann man es wohl begreifen, daß auf einer Welt, wo der Wasservorrat sehr karg geworden ist und deshalb der größte Teil der Planetenoberfläche schon zu unfruchtbarem Wüstenlande geworden ist, dort als vorhanden vorausgesetzte intelligente Wesen noch ganz unvergleichlich größere Bauten ausgeführt haben können, um den fruchtbaren Niederungen das Wasser der alljährlichen Schmelze der polaren Schneekalotte zuzuführen. Man kann für den Ausbau eines so gewaltigen Systems ruhig Jahrtausende in Anspruch nehmen, in denen der allen Planetenwelten bevorstehende Prozeß der langsamen Austrocknung auf Mars merkbare Fortschritte machte.

Einige besondere Erscheinungen bestätigen, daß die sogenannten Kanäle jedenfalls keinen ganz gleichmäßigen Aufbau in der Richtung ihres Querschnitts haben, also nicht etwa voll mit Wasser gefüllt sind. Sehr lehrreich ist in dieser Beziehung namentlich eine Beobachtung, die Schiaparelli während der Opposition von 1879—80 machte. Nördlich von Thaumasia, in der von Schiaparelli Tharsis genannten gelben Region, sah man einen weißen Streifen, der von der nördlichen Schneekappe ausging, wie ähnliche schon früher beschrieben worden sind. Der Streifen lagerte sich über die Kanäle der Gegend hin, von denen damals namentlich der Nilus doppelt und sehr breit war. Schiaparelli richtete nun sein Augenmerk darauf, ob der offenbar ephemere weiße Streifen von den dunkeln Kanälen unterbrochen werden würde, oder ob die dunkeln Linien den Streifen trennten. Sind die Kanäle voll mit Wasser gefüllt, und verdankt der Streifen seine weiße Farbe Niederschlägen, die sich bei bestimmter Temperatur zu dem dunkeln Produkt auflösen, das jene Kanäle aufnehmen, so müßte der Marsschnee sich in den Kanälen verlieren, die Kanäle würden den weißen Streifen dunkel durchschneiden. Entstehen dagegen die dunkeln Linien ausschließlich durch eine tiefere Färbung der Landgebiete infolge irgend einer Betätigung der organischen Natur, so wäre es jedenfalls möglich, daß das weiße Niederschlagsprodukt sich über jene Gebiete hinlagerte und somit seinerseits die sogenannten Kanäle unterbräche. Wir erkennen nun deutlich aus der damals entworfenen Skizze, daß in gewissem Sinne beides eintrat, indem der doppelte Nil da, wo der weiße Streifen über ihn hinwegging, bedeutend verschmälert wurde. Dies paßt vortrefflich in unsere Anschauung von diesen Objekten: da, wo in dem breiten Überschwemmungsgebiete die Vegetation sich bereits hervorgewagt hatte, wurde sie von einem

Frühlingsschnee zeitweilig wieder überdeckt; in der Mitte aber, wo wirklich Wasser in den tiefsten Stellen stand, wurde der Schnee aufgelöst.

All diesen interessanten Erscheinungen, die auf Grund von Beobachtungen einer ganzen Reihe von erfahrenen und zum Teil auch außerordentlich kritisch vorgehenden Beobachtern angenommen wurden, die seit mehr als einem Vierteljahrhundert unsere Nachbarwelt durchforschten, ist nun in neuerer Zeit von einigen Astronomen die reale Existenz abgesprochen worden, womit dann viele der vorangehenden Betrachtungen über das Weltbild des Mars, namentlich soweit sie das Vorhandensein intelligenter Wesen voraussetzen, in sich zusammenfallen würden. Es ist ja richtig, daß die meisten, doch bei weitem nicht alle, „Kanäle" an der Schwelle unseres Auffassungsvermögens stehen, daß also Täuschungen hier nicht ausgeschlossen sind. Verdächtig erscheint auch hier wieder, wie bei den Flecken von Merkur und Venus, die Tatsache, daß die betreffenden Einzelheiten immer nur von mittleren, selten unzweifelhaft von großen Instrumenten gesehen wurden. So schreibt z. B. Barnard, daß in dem 36-Zöller der Lick-Sternwarte „die Details auf der Marsscheibe 1894 so zahlreich und kompliziert waren, besonders in den dunkeln Regionen des Planeten, daß es unmöglich wurde, sie genau zu zeichnen", daß er aber „von dem Netzwerke der feinen Kanäle, welches andere und minder erfahrene Beobachter schon mit sechszölligen Fernrohren gesehen haben wollen, am großen Lick-Refraktor nichts wahrgenommen" hat. Auch Schiaparelli selbst, der seine epochemachenden Beobachtungen mit einem achtzölligen Instrument anstellte, und dem später dafür ein 18zölliges Instrument zu Gebote stand, klagt darüber, daß er in diesem so viel mächtigeren Instrument eher weniger als in dem kleineren sähe. Diese Verschiedenheit der Bilder bei großen und kleinen Instrumenten kann aber ebenso einem Nachteil des größeren vor dem kleineren zugeschrieben werden, wie umgekehrt. Wir haben schon oben gesehen (S. 30), daß gerade sehr große Instrumente, die durch die Deformation der schweren Gläser infolge ihrer eigenen Schwere weniger scharfe Bilder liefern, optisch weniger vollkommen sein können als Gläser von mittlerer Größe. Diese wieder sind zweifellos optischen Täuschungen mehr ausgesetzt als jene. Wer also hat nun recht? Lowell, der die Karte Schiaparellis nicht nur bestätigen konnte, sondern sie noch wesentlich vervollständigte, arbeitete gleichfalls mit einem großen Instrumente von 24 Zoll Öffnung unter einem ganz besonders reinen Himmel. Diesem Forscher ist es während der Oppositionen von 1905 und 1907 sogar gelungen, auf vielen Aufnahmen eine Reihe von Marskanälen photographisch wiederzugeben.


Der doppelte Nilus auf Mars, von einem weißen Streifen durchzogen; gezeichnet 1879/80 von Schiaparelli.

Freilich ist auch dieser Beobachter betreffs Verdoppelung der Kanäle skeptisch, von denen er nur einmal sichere Wahrnehmung gemacht zu haben glaubt. Doch meldet er, 1907 den Gehon doppelt auf der Platte fixiert zu haben. Pickering, der eine Zeitlang mit ihm zusammen in Flagstaff beobachtete, hat Versuche mit künstlichen Planetenkugeln angestellt und hält danach die Verdoppelungen für optische Täuschungen. Es wird in der Tat wohl nichts anderes übrigbleiben, als diese in jeder Hinsicht unerklärliche Erscheinung bis zu etwaiger sicherer Bestätigung aus unserem Weltbilde des Mars zu streichen,

denn auch durch die photographische Platte kann man sich täuschen lassen. Pickering erkannte auch an seinem künstlichen Marsplaneten, daß selbst die einfachen Kanäle nicht notwendig zusammenhängende Linien oder Streifen zu sein brauchen, sondern daß auch einzelne in Reihen stehende Punkte oder Flecke im Auge leicht zusammenhängend erscheinen, wenn sie an der Grenze der Sichtbarkeit sind. Hier wird man an den Vergleich Schiaparellis (s. S. 135) von den sich zusammenziehenden Trupps Soldaten erinnert. Diese etwaige Auflösung der „Kanäle" in aneinandergereihte kleine dunkle Flecke steht durchaus im Einklang mit der Vegetationshypothese; die sich aneinanderschließenden Flecke wären dann Felder, auf denen die Belaubung zuerst beginnt und die erst bei weiterer Ausbreitung sich vereinigen, was übrigens überhaupt nicht vollkommen zu geschehen braucht.

An diese Möglichkeit, daß sich ganz anders geartete Gebilde in unserem Auge zu „Kanälen" vereinigen können, knüpfen merkwürdige Versuchsreihen an, welche die Engländer Maunder und Evans mit Schulkindern in Greenwich angestellt haben. Sie stellten Marszeichnungen her, auf denen nur die unzweifelhaft vorhandenen hellen und dunkeln Flecke eingetragen waren. Diese Zeichnungen wurden vor Schülern in einer Entfernung aufgestellt, daß sie denselben Eindruck machten wie Mars in unseren Fernrohren, und es wurde den Kindern aufgegeben, zu zeichnen, was sie zu sehen glaubten. Es ist nun jedenfalls psycho-physiologisch sehr interessant, daß auf diesen Zeichnungen zwölf „Kanäle" von verschiedenen Schülern angegeben wurden, und daß die Häufigkeit, mit der diese Täuschungen auftraten, von einer bestimmten Entfernung des Schülers von der Vorlage abhing. Zu nahe Befindliche zeichneten die Flecke richtig ohne Kanäle dazwischen, zu Entfernte konnten eben nichts mehr recht unterscheiden. Uns scheint es, als ob diese Versuche gerade deutlich bewiesen, daß auf dem Mars Dinge von der eigentümlichen Anordnung, die uns zu den vorhin vorgetragenen Schlußfolgerungen führte, wirklich vorhanden sind. Als eigentliche Kanalbauten sehen wir diese scheinbaren Linien ja längst nicht mehr an, und ob diese langgestreckten, die gelben Kontinente auf kürzestem Wege durchziehenden Gebiete nun einheitlich oder aus einer Menge einzelner Punkte oder Flecke zusammengesetzt sind, das ändert an dem Weltbilde des Mars, wie es sich vor uns entwickelte, nichts Wesentliches.

Überblicken wir dieses Weltbild noch einmal im Zusammenhange, so können wir mit großer Wahrscheinlichkeit behaupten, daß auf Mars eine Flüssigkeit in einem ähnlichen Kreislaufe zikuliert, wie bei uns das Wasser, daß ferner diese Flüssigkeit, auch im Verhältnis zu dem Umfange jener Welt, in weit geringeren Mengen vorhanden ist als das Wasser bei uns, folglich im Kreislauf der Jahreszeiten viele Niederungen nur zeitweise überdeckt, permanente Meere nur an wenigen Stellen bildet; daß weiter die Niederungen zur Zeit ihres größten Reichtums an jener Flüssigkeit Erscheinungen zeigen, die mit denen unserer Vegetationsentfaltung so viele Ähnlichkeiten haben, wie es aus der uns von Mars trennenden Entfernung zu erkennen ist, wogegen die niemals von der dunkeln Flüssigkeit getroffenen gelben Regionen in einer sterilen Unveränderlichkeit daliegen, nur durchkreuzt von Wegen, die intelligente Wesen durch ein wohlerdachtes, großartig und einheitlich über den ganzen Planeten angelegtes System von befruchtenden Kanalläufen dem Leben wiedererobert haben.

Aus gutem Grunde ist vorhin nur der Vergleich mit unserem Wasser herbeigezogen worden, ohne die Gleichartigkeit jener Flüssigkeit auf Mars mit dem Wasser zu behaupten. Einige sorgfältige Forscher haben nämlich die Möglichkeit des Vorhandenseins von Wasser in flüssiger Form auf Mars überhaupt in Frage gestellt, weil der Planet vermöge seiner

Stellung zur Sonne nur etwa $^3/_7$ der uns zukommenden Wärme von dem Zentralgestirn erhält. Außerdem sprechen gewisse theoretische Untersuchungen von Johnstone Stoney dagegen, der nach den Prinzipien der kinetischen Gastheorie berechnete, wie schwer Gasmoleküle sein müssen, daß die verschiedenen Planeten sie noch festhalten können, und welche anderen, leichteren dagegen langsam in den Weltraum entweichen müssen. Diese Theorie spricht Mars den Wasserdampf ab, während er Kohlensäure noch zu halten vermag. Diese Verhältnisse sind aber außer von der Schwerkraft auf den Planetenoberflächen, die wir genau kennen, abhängig von den dort herrschenden Temperaturen, und über diese wissen wir nur annähernd Bescheid. Bryan kam deshalb unter anderen immer noch plausibeln Annahmen zu dem Schlusse, daß dem Vorhandensein von Wasserdampf auf dem Mars theoretische Bedenken nicht entgegenstehen. Auch hier schwanken also wieder die Meinungen.

Es mußte allerdings verwunderlich erscheinen, daß bei einer offenbar sehr regen Zirkulation jener Substanz, welche die Polarkappen erzeugt, doch nur verhältnismäßig selten Wolken- oder Nebelbildungen auftreten. Die Wasserzirkulation auf unserer Erde können wir uns ohne Wolken, die monatelang ganze Landstriche bedecken, gar nicht denken. Man hat darauf hingewiesen, daß K o h l e n s ä u r e bei sehr viel niedrigeren Temperaturen, als sie unsere Klimate haben, etwa zwischen 50 und 100 Grad unter Null, Erscheinungen zeigen würde, die einen Teil der Wahrnehmungen auf Mars erklären könnten, ohne daß man dazu der Wolkenbildung bedürfte. Kohlensäure bildet einen weißen Schnee, der sich bei genügender Kälte aus einem farblosen Gas ohne Nebelbildung niederschlägt. Freilich geht die Kohlensäure in die flüssige Form erst unter sehr hohem Druck über. Die ungemein deutlich hervortretenden Überschwemmungserscheinungen müßten also anderweitig erklärt werden; ebenso die Vorgänge, die mit dem Leben einer uns verständlichen Vegetationswelt vorhin in Verbindung gebracht wurden. Es ist zwar durch Experimente gezeigt worden, daß Pflanzen auch in einer sauerstofflosen Atmosphäre leben können, die zum großen Teil aus Kohlensäure besteht, ja daß sie in einer solchen Atmosphäre, die vielleicht zur Zeit der Steinkohlenbildung unseren Planeten umgab, sogar besser gedeihen als in der heutigen; aber W a s s e r d a m p f muß unter allen Umständen in beträchtlichen Mengen darin enthalten sein.

Uns scheint, daß man zu dem Notbehelf der Kohlensäure nicht zu greifen braucht, um über die Schwierigkeit der geringeren Wärmezufuhr hinwegzukommen. Unsere Atmosphäre absorbiert nach Untersuchungen von Langley und anderen etwa die Hälfte der uns zugestrahlten Sonnenwärme durch die Wolken, den Staub und namentlich durch die Umsetzung der Wärme in mechanische Arbeit während der verschiedenen meteorologischen Prozesse. Die Marsatmosphäre ist aber zweifellos viel reiner als die unsrige und, wie wir gesehen haben, viel dünner; deshalb muß auch die Absorption notwendig erheblich geringer sein. Anderseits berechnete Maunder unter der wahrscheinlich noch viel zu hoch gegriffenen Voraussetzung einer Marsatmosphäre von $^2/_5$ Dichte der unsrigen (Campbell hatte, wie oben angegeben, $^1/_4$ als die zulässige obere Grenze angegeben), daß auf der Oberfläche des Mars das Wasser schon bei einer Temperatur von 46 Zentigraden in Dampfform übergeht. Die Auflösung des Wasserdampfes in der Atmosphäre ist dort also sehr erleichtert. Wir können die Zustände auf der Oberfläche des Mars überhaupt mit denen auf unseren höchsten Bergspitzen vergleichen, nur mit dem Unterschiede, daß letztere isoliert in das Luftmeer hineinragen, während auf Mars die ungemein kräftige Einstrahlung, welche die

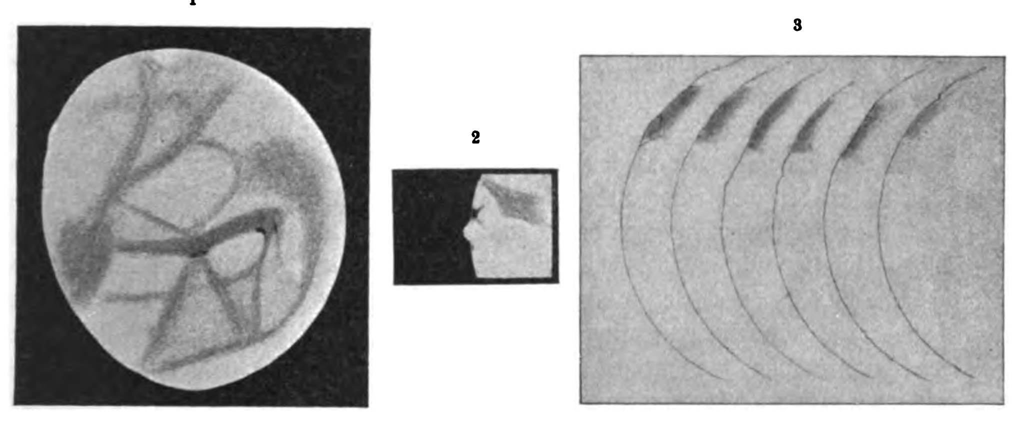
Oberfläche erfährt, die unmittelbar darüber lagernden Luftschichten stark erwärmen muß. Wer jemals einen höheren Berg erstiegen hat und oben hellen Sonnenschein vorfand, wird empfunden haben, wie intensiv die Wärmestrahlen dort auf jeden Körper wirken. Die Atmosphäre dient für uns in jeder Hinsicht als schützender Mantel. Am Tage nimmt sie einen großen Teil der dem gesamten Planeten zukommenden Wärme auf und formt daraus den Schirm der Wolken; in der Nacht aber hält sie die eisige Kälte des Weltraumes von der belebten Oberfläche fern. Auf Mars wird dies nur in sehr beschränktem Maße stattfinden. Am Tage wird das Erdreich stark erhitzt werden und die ohnehin nicht bedeutenden Mengen von Wasserdampf in der Atmosphäre aufgelöst festhalten. Sobald indes die Sonne unter den Horizont gesunken ist, dringt die Kälte des Weltraumes ein und kondensiert den Wasserdampf zu Nebeln und Wolken, aus denen es niederschneit, oder aus denen vielleicht auch nur eine reichliche Reifbildung sich niederschlägt. Die ersten Sonnenstrahlen aber verscheuchen die Nebel wieder.

Am 25. und 26. November 1894 machte Douglaß eine Wahrnehmung, welche diese aus der Annahme einer dünnen Lufthülle mit Sicherheit zu schließenden Verhältnisse zu bestätigen scheint. Er beobachtete nämlich etwas jenseits des Terminators, also getrennt von der leuchtenden Scheibe des Planeten, einen hellen Streifen, der etwa 225 km lang und 65 km breit war und überall in gleichem Abstand vom Terminator blieb. Die Erscheinung hatte Fluktuationen, sie kam und verschwand, bis sie nach etwa 30 Minuten überhaupt nicht mehr auftrat. Am nächsten Abend wiederholte sich das Spiel; der Streifen aber, der etwa über Protei Regio schwebte, hatte sich um 9 Grad nach Norden verschoben. Es handelte sich hier offenbar nicht um ein festes Oberflächengebilde, sondern um eine vorübergehende Erscheinung, die über der Oberfläche schwebte, und deren Höhe zu etwa 30 km berechnet werden konnte. Vielleicht ist der äußerste Rand jenes Nebelschleiers sichtbar geworden, der sich nächtlich über die Marsoberfläche breitet; sein Kommen und Wiedervergehen deutete die Auflösungsarbeit an, welche die Sonnenstrahlen in jenen Grenzgebieten übten.

Jedenfalls sehen wir, daß dem Vorhandensein von Wasser in seinen drei Aggregatzuständen auf Mars keine prinzipiellen Hindernisse im Wege stehen. Alle die anderen Schlüsse, die sich daran knüpften, bleiben also bestehen. Der interessanteste derselben war für uns jedenfalls die Anwesenheit intelligenter Wesen auf jener Nachbarwelt. Aber wir wissen, wie sehr sie in Zweifel gezogen ist. Wenn solche Wesen dort existierten, hätten sie uns nicht schon einmal ein Lebenszeichen herüber senden können? Sollten wir es nicht einmal selbst versuchen, uns mit unseren vermuteten Brüdern dort oben in Verbindung zu setzen? Eine französische Dame hat der Pariser Akademie ein Legat von 100,000 Frank lediglich zu diesem Zweck vermacht, und in neuerer Zeit geht der berühmte Elektrotechniker Tesla ernstlich mit dem Plane um, riesige elektrische Spannungen zu erzeugen, mit denen man auf dem Wege der drahtlosen Telegraphie mit jener Nachbarwelt korrespondieren könne, ja er glaubte selbst schon Schwankungen des elektrischen Potentials unserer Erdkugel wahrgenommen zu haben, die nur von außerirdischen intelligenten Wesen verursacht worden sein konnten. Leider bewegen wir uns hier immer wieder auf der Grenze unseres Könnens.

Gerade um die Zeit, als phantasievolle Geister bemüht waren, ein Mittel auszugrübeln, durch das man die gewünschte interplanetare Benachrichtigung eröffnen könne,

sahen die durch sehr kräftige Fernrohre bevorzugten Beobachter eigentümliche helle Hervorragungen am Terminator des Mars, die zu dauernd waren, um für Wolkenzüge gelten zu können; es schien, als ob weite Gebiete des Planeten, sobald die Nacht sich über sie senkte, aufleuchteten. Jedenfalls waren diese Stellen nicht ohne weiteres als Bergspitzen anzusehen, die noch von den Sonnenstrahlen beleuchtet sind, wie man solche jenseits des Mondterminators oft erblickt. Würde man dies annehmen, so käme man zur Annahme von 30—60 km hohen Bergen, die doch allzu unwahrscheinlich wären. Deshalb war für viele kein Zweifel darüber, daß wir von jener fernen Welt Flammenzeichen erhielten. Aber dies hat sich leider nicht bestätigt. Campbell hat für diese Lichtauswüchse eine recht einleuchtende Erklärung gegeben, durch die sie als ausgedehnte Hochlandgebiete charakterisiert werden. Schon früher hatte man gelegentlich helle Stellen



Terminatorlinie des Mars: 1) Ausbuchtung, beobachtet am 11. August 1894 von Douglaß; 2) Ausbuchtung in der Nähe des Mare Sirenum, beobachtet am 19. August 1894 von Douglaß; 3) Einbiegungen, beobachtet auf der Lowell-Sternwarte am 24. August 1894.

auf dem Planeten gesehen, die, je mehr sie sich dem Rand oder dem Terminator näherten, immer noch heller wurden; aber man sah sie niemals über den Terminator hervorragen, bis man dies zuerst auf Mount Hamilton am 5. und 6. Juli 1890 bemerkte. In den beiden folgenden Oppositionen von 1892 und 1894 sind sie wiederholt von den Astronomen in Arizona, resp. Arequipa, von Perrotin in Nizza, von Flammarion und anderen gesehen worden. Unsere von Douglaß und W. Pickering herrührenden Zeichnungen geben den Anblick dieser Ausbuchtungen wieder oder zeigen die Konturen des Terminators auch da, wo deutliche Einbuchtungen desselben zu erkennen waren. Die hellen Hervorragungen traten immer nur in bestimmten Regionen auf, und zwar nur in jenen gelben Gebieten, die wir als Land betrachten; die eine Stelle liegt in der Tempe genannten Gegend nördlich von Thaumasia und Tharsis, eine andere auf Noaches, eine dritte in der Nähe des Mare Sirenum. Wenn eine solche Stelle während einer zweiten Opposition, also nach zwei Jahren, wieder erschien, so hatte sie stets die gleiche Lage. Campbell gibt folgende einfache Erklärung des Phänomens: „Am 11. Juli 1892 war Mars von uns 63 Millionen km entfernt. Wir konnten Vergrößerungen von 350—520 anwenden, sie brachten uns dem Planeten auf 180,000, resp. 120,000 km nahe. Unser Mond ist mehr als zweimal 180,000 und mehr als dreimal 120,000 km von uns entfernt. Dennoch sind wir imstande, mit dem

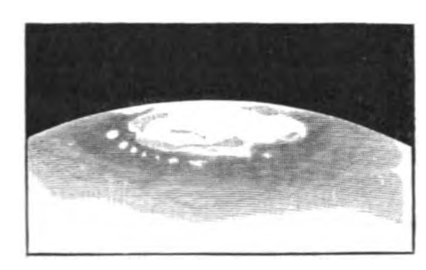
bloßen Auge helle Auswüchse am Mondterminator zu sehen, die durch Bergketten und große Krater hervorgebracht werden." Unter dieser Voraussetzung, daß es sich um langgestreckte Bergketten handelt, findet sich in einem der Fälle die Länge derselben gleich 140 km und die Höhe nur gleich 3,04 km.

Wenn es aber Berge auf dem Mars gibt, wofür noch das vorübergehend gesprenkelte Aussehen gewisser Gebiete und die von den Polarkappen sich gelegentlich abtrennenden weißen Punkte sprechen, wie es die Zeichnung von Green aus dem Jahre 1877 veranschaulicht (s. Abbildung, S. 145, oben), so gibt es auch Täler dort. Die Einbiegungen des Terminators, wie sie Pickering zeichnete (s. Abbildung 3, S. 143), geben hiervon Zeugnis. Während die Auswüchse nur in den gelben Gebieten auftraten, sind die Einbiegungen den dunkeln Gebieten zugekehrt, wodurch unsere Ansicht bestätigt wird, daß letztere Niederungen keine beständigen Meere sind. Eine auffällige Erscheinung, die man als Andeutung einer Talsenkung ansprechen muß, nahm man 1892 und 1894 wahr. Pickering beschreibt sie im ersteren Jahre folgendermaßen: „Als der schmelzende Schnee sich zu den Polen zurückzog, sah man eine schmale, nahezu geradlinige Region, wo er länger verweilte als sonstwo. Ende September war das Schneegebiet in zwei Teile getrennt, von denen der eine lang und schmal, der andere von unregelmäßiger Gestalt und etwas fleckig war. Es hatte den Anschein, als ob dies von einer Gebirgskette und anderseits von einem Gebiete mit unregelmäßigen Erhöhungen, zwischen denen ein Tal liegt, herrühre. Von diesem Tale ging im Juli eine dunkle Linie aus, welche es mit dem Meere verband." Später gabelte sich diese dunkle Linie im Schneegebiete, so daß sie das Aussehen eines Y gewann. 1894 erschien das Y wieder und wurde von Pickering gezeichnet (s. Abbildung, S. 145, unten). Von einer spitzigen Hervorragung, die Barnard 1892 und 1894 an der südlichen Polarkappe wahrnahm, konnte nachgewiesen werden, daß sie bereits von Mitchel 1845 und Green 1877 gesehen wurde, der ihr den Namen Mitchelberg gab. Dieser Fleck erscheint regelmäßig etwa 60 Tage vor dem Sommersanfange der Marssüdhalbkugel. Um ihn herum schmilzt dann der Schnee weg, während er auf dem Berge selbst liegen bleibt.

Wir sehen, wie sich mit jeder Vermehrung des Beobachtungsdetails die allgemeinen Züge des Weltgemäldes klarer ausgestalten, das wir uns von unserem Nachbarplaneten entwickelt haben. Es scheint deshalb, als seien wir mit unseren Deutungen des Gesehenen auf einer richtigen Fährte, wenngleich Gewißheit für eine Reihe von Schlußfolgerungen, die wir hier zogen, heute noch nicht vorliegt. Es bleibt uns nichts übrig, als mit Schiaparelli „etwas Vertrauen in das zu setzen, was Galilei die Höflichkeit der Natur nannte, derzufolge sie uns von Zeit zu Zeit von ganz unerwarteter Seite her einen Lichtstrahl zusendet und uns über Dinge aufklärt, die zuvor jeder Spekulation unerreichbar erschienen. Ein schönes Beispiel hierfür bietet uns die Spektralanalyse der Himmelskörper. Hoffen wir also und arbeiten wir weiter!"

Am 11. August 1877 sah Asaph Hall in Washington mit Hilfe des damals noch größten Refraktors der Welt ein ungemein kleines Sternchen ganz in der Nähe des Mars. Es unterschied sich im Aussehen nicht von jenen Millionen anderer kleinster Sterne, die ein solches Riesenfernrohr dem menschlichen Blick enthüllt, und von denen man fast immer einige sieht, in welche Richtung man das Sehwerkzeug auch bringen mag. Nur der Umstand, daß dieses Sternchen stets in der nächsten Nähe des Planeten blieb, also die Bewegung mitmachte, die dieser in seinem synodischen Umlauf um die Sonne unter den übrigen Sternen ausführt, bewies, daß es in direkter Abhängigkeit von dem Planeten stehen mußte. Dies

trat namentlich auch dadurch hervor, daß der begleitende Stern nicht genau dem Planeten folgte, sondern bald etwas schneller, bald langsamer lief, so daß er gelegentlich rechts, dann wieder links vom Mars gesehen wurde, aber immer einen bestimmten maximalen Abstand von ihm innehielt: kurz, das Sternchen umlief offenbar den Planeten; es mußte ein Mond des Mars sein. Am 17. August bemerkte Hall, während er das sechs Tage vorher entdeckte Sternchen verfolgte, ein zweites, dem Planeten noch näher stehendes, das dieselben Eigenschaften zeigte: die beiden Monde des Mars, später Deimos und Phobos, Furcht und Schrecken, die Söhne und Begleiter des Kriegsgottes, genannt, waren entdeckt.



Helle Punkte in der Nähe der Südpolarkappe des Mars, gezeichnet von Green am 8. September 1877. Vgl. Text, S. 144.

Diese Entdeckung war indes keineswegs eine zufällige. Hall hatte die außerordentlich günstige Lage des Mars zu uns, die 1877 eintrat und nur alle 15 Jahre wiederkehrt, in Gemeinschaft mit der damals sonst unerreichten Kraft seines Fernrohres ausgenutzt, um die bereits seit zwei Jahrhunderten vielfach erörterte Frage nach der Existenz von Marsmonden zu entscheiden. Es ist interessant, daß bereits 1726 Swift in seinem berühmten Phantasiewerke „Gullivers Reisen" von einem Volke redete, das mit viel kleineren, aber die Himmelsobjekte viel deutlicher und größer zeigenden Fernrohren zwei Marsmonde entdeckt habe, von denen der innerste genau drei Durchmesser des Planeten von ihm abstehe, der äußere fünf. In Wirklichkeit ist die Entfernung des zweiten Marsmondes gerade so groß, wie sie Swift von seinem phantasierten ersten angegeben hatte. Die Umlaufszeit des ersten Satelliten gibt Swift zu zehn Stunden an, die wirkliche beträgt 7 Stunden 41 Minuten, die des zweiten $30^1/_4$ Stunden, während sie von dem vorahnenden Dichter zu $21^1/_2$ Stunden angegeben war. Im vorliegenden Falle erscheint indes bei genauerer Betrachtung dieses Erraten nicht sehr seltsam. Man suchte längst nach einem oder mehreren Marsmonden. Die Erde besitzt einen, Jupiter vier Monde. Bei dem Spiel mit Zahlen, das die Philosophen damals mit Vorliebe trieben, war es, wenn schon einmal geraten werden sollte, naheliegend, bei Mars an zwei Monde zu denken, denn man hatte dann die Zahlenreihe 1, 2, 4 für die aufeinander folgenden Planeten. Daß ferner diese Monde sich sehr nahe am Planeten befinden mußten, war bei der Kleinheit des letzteren ebenfalls zu vermuten. Waren aber einmal die Entfernungen von drei und fünf Durchmessern erraten, so folgten daraus die Umlaufszeiten nach dem dritten Keplerschen Gesetz, das wir später kennen lernen werden.



Das Y auf der Südpolarkappe des Mars, 1894 gezeichnet von W. Pickering. Vgl. Text, S. 144.

Aber die vermuteten Marsmonde wurden dennoch bis auf Halls Zeiten nicht entdeckt. Herschel, Mädler, d'Arrest suchten nach ihnen auf das eifrigste, und der letztere konnte mit Bestimmtheit behaupten, daß kein Marsmond existieren könne, der die sehr geringe Leuchtkraft der sogenannten zwölften Größenklasse der Gestirne überschritte und sich während seines Umlaufes mindestens um 20—24 Durchmesser des Planeten von ihm entfernen könne. In größerer Nähe konnte allerdings ein so feines Lichtpünktchen in dem d'Arrestschen Fernrohre nicht mehr gesehen werden, weil die Lichtfülle des Planeten dort den Himmelsgrund zu sehr erhellte. Diese Untersuchungen fanden 1864 statt.

Nach solchen Erfahrungen konnte Asaph Hall, als er während der besonders günstigen Opposition von 1877 sich anschickte, abermals nach den Marsmonden zu suchen, sein Gebiet ohne weiteres wesentlich einschränken. Er suchte eben nur in größerer Nähe des Planeten, wo er mehr Wahrscheinlichkeit hatte, ein sehr kleines Objekt zu sehen, als sein Vorgänger d'Arrest. Der ungemein große Vorsprung des kräftigeren Instrumentes zeigte sich sofort. Anfang August 1877 hatte Hall seine Aufsuchungsarbeiten begonnen, aber erst am 10. richtete er sein Augenmerk auf die allernächste Nähe des Planeten, und am Tage darauf hatte er den einen Mond gesehen.

Nachdem die Monde einmal entdeckt waren, gelang es, sie auch schon in weit lichtschwächeren Fernrohren zu sehen: eine ganz gewöhnliche Erscheinung, die sich stets wiederholt, wenn man die Lage des Objektes vorher mit genügender Annäherung kennt. Das Auge schweift dann nicht mehr unruhig suchend umher, und die Lichtwelle hat Zeit, einen und denselben Sehzapfen wiederholt zu treffen. Außerdem kann man die empfindlichste Stelle des gelben Fleckes unserer Netzhaut dem Lichtstrahle zuwenden und die ganze Aufmerksamkeit auf den zu empfangenden Lichteindruck konzentrieren. Die Marsmonde, die von d'Arrest mit einem Fernrohr von 11 Zoll Öffnung vergeblich gesucht worden waren und mit einem solchen von mehr als fünfmal größerer Lichtstärke zum erstenmal auf ein menschliches Auge einen bewußten Eindruck machten, sind später mit einem auf 5 Zoll abgeblendeten Fernrohre von Trouvelot noch erkannt worden, und die gelegentlichen Besucher der Lick-Sternwarte sehen sie als durchaus auffällige Objekte.

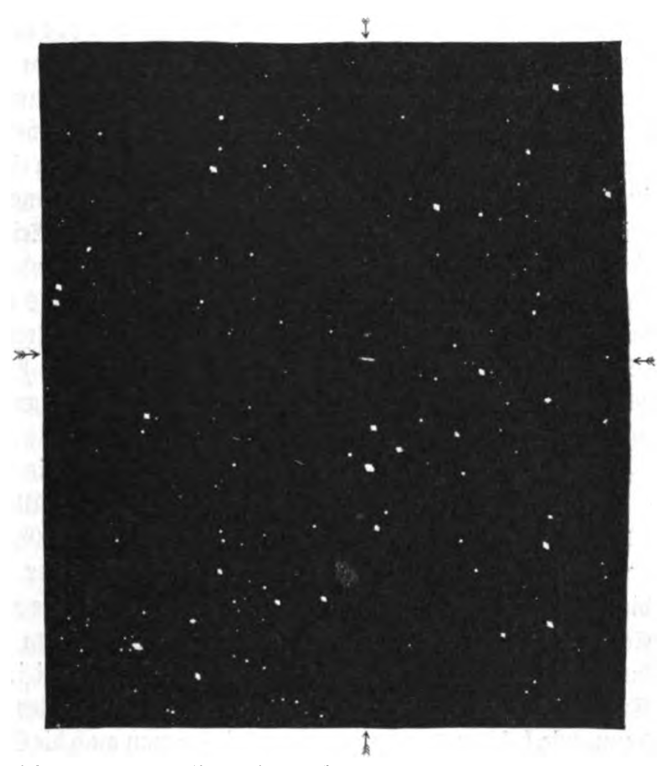
Im übrigen ist von diesen sehr kleinen Himmelswesen hier kaum noch etwas zu sagen. Selbstverständlich erscheinen sie ganz durchmesserlos, so daß man für ihre wirkliche Größe höchstens eine obere Grenze angeben könnte, indem man berechnet, wie groß sie sein müßten, damit sie, von uns aus gesehen, noch einen merklichen Durchmesser zeigten. Aber die Photometrie des Himmels gibt noch einen anderen Weg an, diese Größe mit etwas mehr Wahrscheinlichkeit zu bestimmen. Unter der Voraussetzung nämlich, daß die Albedo oder die Fähigkeit, das Sonnenlicht zurückzuwerfen, für die Oberflächen dieser Monde ebenso groß sei wie für die Oberfläche des Planeten, den sie umkreisen, kann man berechnen, wie groß eine Oberfläche sein müßte, die aus der Entfernung der Marsmonde so viel Sonnenlicht zurückstrahlt, wie es in Wirklichkeit der Fall ist. Man erhält dann für den innersten Mond, Phobos, der ein wenig heller erscheint als sein Nachbar, einen Durchmesser von nur 9,5 km und für Deimos einen solchen von nur 8 km. Sie sind demnach bei weitem die kleinsten permanenten Himmelskörper, die wir kennen. Ihre Oberfläche wird kaum 300 qkm umfassen. Die Fürstentümer Reuß ältere Linie oder Schaumburg-Lippe haben auf einem dieser Himmelskörper noch nicht genügend Platz. Auch vom Mars selbst gesehen, können die Monde nur sehr klein erscheinen, obgleich sie ihm doch so nahe stehen. Der Abstand des nächsten Mondes von der Oberfläche des Mars ist kaum so groß wie die Entfernung von Berlin bis New York, aber Phobos hält, aus dieser betrachtet, doch nur etwa drei Minuten im Durchmesser; er ist also zehnmal kleiner, als unser Mond uns erscheint. Der entferntere Mond nun gar wird dort nicht größer aussehen als für uns die Venus.

Von allen den übrigen seltsamen Phänomenen zu sprechen, welche die Marsmonde infolge ihrer äußerst schnellen Bewegung um ihren Hauptplaneten zeigen, ist hier noch nicht der Ort. Wir kommen darauf im zweiten Hauptteil zurück.

---

5. Die kleinen Planeten.

Dürften wir unsere Durchmusterung und Erforschung des Himmels in der ganz konsequenten Art durchführen, die nichts vorausnimmt, was sich nicht in der Kette der aufeinanderfolgenden Schlüsse über das Gesehene wie von selbst darbietet, so würde dieses Kapitel über die Gruppe jener winzig kleinen planetarischen Körper, deren Hauptmasse einen Ring zwischen Mars und Jupiter bildet, wahrscheinlich zu den letzten unserer beschreibenden Astronomie gehören. Denn diese Himmelskörper unterscheiden sich von der millionenfachen Schar kleinster Fixsterne, die uns kaum weiter interessieren, als daß wir aus ihrer Verteilung am Firmament etwas über den Bau eines größten Weltsystems abzuleiten suchen, nicht anders als durch ihre Bewegungen. Das Studium dieser Bewegungen aber soll uns erst in dem zweiten Hauptabschnitte dieses Werkes beschäftigen.



Asteroid 422 Berolina, photographisch entdeckt im Sternbild der Fische von G. Witt auf der Urania-Sternwarte in Berlin am 8. Oktober 1896.

Wollen wir also ein charakteristisches Bild eines kleinen Planeten hier entwerfen, so können wir nichts Besseres tun, als eine jener Photographien wiederzugeben, auf denen man heute diese Körper entdeckt. Wir erkennen darauf eine Anzahl von größeren und kleineren Punkten, welche die Fixsterne der betreffenden Gegend auf der Platte hervorbrachten, und einen kleinen Strich. Dieser Strich ist die Spur eines kleinen Planeten. Die Platte ist das Resultat mehrstündiger Belichtung, während welcher der Beobachter durch andauernde Kontrolle dafür sorgte, daß jeder feststehende Stern stets genau dieselbe Stelle der Platte mit seinem Lichte traf. Während dieser Zeit mußte also ein sich unter den Sternen fortbewegendes Lichtpünktchen eine Linie erzeugen; dies ist das einzige Merkmal, an dem man den Planeten erkennt. Da man nun die Orte der Fixsterne, die sich verzeichneten, in ihrer Lage zu gewissen, allgemein vereinbarten Fixpunkten des Himmelsgewölbes genau kennt oder ermitteln kann, so ist durch nachträgliche Ausmessung der Lage des Planetenstriches leicht festzustellen, ob man es mit einem bereits bekannten Gliede der Gruppe zu tun hat, dessen Bahn man im voraus berechnet hat, oder ob es geglückt ist, einen neuen zu der zahlreichen Gemeinschaft zu fügen. Ist dies der Fall, so gibt die Länge und Richtung des Striches an, wo man den neuen

Körper ungefähr an einem der nächsten Tage aufzusuchen hat. Man kann dann entweder durch direkte Beobachtung oder wieder mit Hilfe der photographischen Platte dort nachforschen; dies einige Tage mit Erfolg fortgesetzt, ermöglicht dem Rechner die Ermittelung der wahren Stellung des neuen Körpers in dem Gürtel, seiner Entfernung, Umlaufszeit u. s. w.

Während also der Himmelsphotograph fast ohne alle weiteren Vorbereitungen oder Vorkenntnisse in den Stand gesetzt ist, neue Planeten aufzufinden, war dies früher nur möglich, nachdem die umfangreiche Arbeit einer genauen kartographischen Aufnahme der Himmelsstriche, in denen man solche Planeten erwarten konnte, vorangegangen war: die Herstellung der sogenannten Ekliptikalkarten. Aus besonderen Gründen, von denen noch später die Rede sein wird, durfte man von vornherein annehmen, daß diese kleinen Planeten sich nur in einer gewissen Zone des Himmels aufhalten können, durch deren Mitte die Sonne ihre jährliche Bahn um den Himmel beschreibt, und die man Ekliptik genannt hat. Von dieser Zone fertigten Peters in Clinton (im Staate New York) und Palisa in Wien sehr genaue Karten an, die alle kleinsten Sterne dieser Gegend enthielten. Verglichen sie nun einige Zeit nach der Herstellung eines Teiles dieser Karte den Himmel mit ihr, so kam es vor, daß hier und da ein Stern fehlte, oder daß einer zu viel sichtbar war. Das erstere konnte man bei der Überfülle des Himmels an kleinen Sternen als eine verzeihliche Vernachlässigung auffassen; ein neu hinzugetretener Stern dagegen mußte als verdächtig weiter verfolgt werden, und wenn er eine Bewegung zeigte, war ein neuer Planet entdeckt. Auf diese Weise haben die beiden genannten Astronomen eine große Anzahl dieser winzigen Weltkörper aufgefunden.

Das systematische Suchen nach diesen Körpern, die „Planetenjagd", wurde natürlich erst von der Zeit an betrieben, als man bereits die Überzeugung gewonnen hatte, daß jedenfalls eine sehr große Anzahl derselben in einem Gürtel zwischen Mars und Jupiter verstreut seien. Die Entdeckungsgeschichte der ersten Asteroiden, wie man diese Gestirne auch zu nennen pflegt, ist naturgemäß eine ganz andere. Der erste von ihnen, Ceres, eröffnete den schönen Reigen der astronomischen Entdeckungen des vorigen Jahrhunderts, da er gerade am 1. Januar 1801 von Piazzi in Palermo zuerst gesehen wurde. Die Entdeckung war allerdings eine rein zufällige, aber sie kam keineswegs unerwartet, denn, wie bei den Monden des Mars, hatte man auch die Existenz dieser Körper längst vorher geahnt. Jedenfalls hatte man vermutet, daß ein Planet in der auffälligen Lücke, welche die Entfernungen der bekannten Planeten von der Sonne zwischen Mars und Jupiter zeigten, vorhanden sein müsse. Stellen wir diese Entfernungen in runden Zehnteln der Sonnenentfernung zusammen: Merkur 4, Venus 7, Erde 10, Mars 15, Jupiter 52, Saturn 95, Uranus 192, so tritt allerdings der Sprung von 15 auf 52 sehr deutlich hervor. Es wurde auch damals viel von dem mit Unrecht so genannten Bode-Titiusschen Gesetze der Planetenentfernungen gesprochen, das die letzteren ungefähr durch eine Reihe wiedergibt; sie findet jedoch in dem uns bekannten Naturgeschehen keine allgemeine Begründung und hat deshalb auf den Namen eines Gesetzes keinen Anspruch. Diese Reihe lautet:

Merkur $4 = 4$	Erde $4 + 2 \times 3 = 10$	Jupiter $4 + 16 \times 3 = 52$
Venus $4 + 1 \times 3 = 7$	Mars $4 + 4 \times 3 = 16$	Saturn $4 + 32 \times 3 = 100$
	Uranus $4 + 64 \times 3 = 196$	

Hier fehlte offenbar in der Reihe 1, 2, 4, 16, 32 und 64 die Zahl 8, die für die Entfernung des vermuteten Planeten 28 ergeben würde. In der Tat fällt diese Entfernung

mit der Mitte der Asteroidenzone ungefähr zusammen. Während man sich gerade anschickte, nach diesem Planeten zu suchen, fand Piazzi, der im Begriffe war, die Verzeichnisse der Fixsterne einer genaueren Prüfung zu unterziehen, einen Stern 8. Größe auf, der in seinen viel kleinere Sterne enthaltenden Verzeichnissen nicht aufgeführt war. Als sich in den nächsten Tagen eine Bewegung des neuen Sternes herausstellte, wußte er, daß es jedenfalls ein Angehöriger des Sonnensystems sein müsse, aber ihm und den ersten Astronomen, die von der Entdeckung hörten, blieb es noch unklar, ob man einen Kometen ohne Schweif oder einen Planeten vor sich hatte. Die Zweifel wurden erst durch theoretische Untersuchungen des jungen Gauß gelöst, der damals im Alter von 26 Jahren bereits weltberühmt war.

Die Frage des fehlenden Planeten zwischen Mars und Jupiter schien den Astronomen der damaligen Zeit so vollkommen gelöst, daß der Kometenforscher Olbers in Bremen, als er bei Gelegenheit einer Beobachtung der Ceres am 28. März 1802 abermals auf einen Stern stieß, der nicht an diese ihm wohlbekannte Stelle gehörte und sich von der Stelle bewegte, doch nicht an einen zweiten Planeten, sondern wieder an einen Kometen glaubte. Auch hier mußte erst die Rechnung eines Besseren belehren. Der zweite kleine Planet, etwa von gleicher scheinbarer Größe wie der erste, wurde Pallas genannt.

Der Gedanke an die Möglichkeit einer großen Zahl von Planeten in dieser Lücke tauchte aber noch immer nicht auf. Das ist begreiflich, wenn man bedenkt, daß seit den Urzeiten bis in jene Epoche zu den wenigen stets bekannten großen Planeten nur einer, Uranus, hinzugetreten war. Man konnte es sich nicht anders vorstellen, als daß das Planetensystem nur aus einigen wenigen Gliedern bestände, wie man es an seinen verkleinerten Abbildern, den Satellitensystemen der Planeten, sah. Da nun aber zweifellos zwei Planeten damals zwischen Mars und Jupiter existierten, so kam Olbers auf den Gedanken, diese beiden Körper möchten ursprünglich nur einen ausgemacht haben, der durch irgend einen gewaltsamen Eingriff zertrümmert worden sei. Diese Ansicht fand dadurch eine Stütze, daß es einen Punkt im Raume gibt, wo die Bahnen der beiden Himmelskörper sich nahezu schneiden, so daß man sich hier den Ort vorzustellen hätte, wo die Katastrophe erfolgte, die einen Weltkörper in Splitter schlug. Dies half die Entdeckung weiterer solcher vermeintlichen Bruchstücke fördern: Am 1. September 1804 fand Harding auf der Privatsternwarte von Schröter in Lilienthal die Juno, am 29. März 1807 wieder Olbers die Vesta. Letztere ist der hellste Planet in dieser Gruppe und von einem außergewöhnlich guten Auge in günstigster Stellung noch eben ohne Bewaffnung zu sehen.

In dieses erste und die nächsten Dezennien des 19. Jahrhunderts fiel die große Arbeit der genaueren Kartenaufnahme des gestirnten Himmels, bei der ein beweglicher Stern von der Größe namentlich des letztentdeckten Asteroiden hätte auffallen müssen. Da dies nicht eintrat, glaubte man wirklich mit jenen vier Körpern die Lücke genügend ausgefüllt zu haben und forschte nicht mehr mit besonderer Aufmerksamkeit in dieser Richtung.

So vergingen 38 Jahre nach der Entdeckung der Vesta, bis ein eifriger Liebhaber der Astronomie, Hencke in Driesen, den fünften Planetoiden, die Asträa, entdeckte. Das neue Gestirn unterschied sich von den vier Gefährten in diesem Ringe durch seine wesentlich geringere Lichtstärke. Diese erst ließ die Vermutung aufkommen, daß solcher kleinen Wesen wohl noch eine beträchtliche Anzahl in ähnlichen Bahnen wandeln könnten; denn so kleine Sterne von der 10. Größenklasse waren bis dahin und sind auch gegenwärtig noch nicht mit ausreichender Vollständigkeit katalogisiert. Es gibt deren schätzungsweise eine Million.



Als deshalb Hencke weiter suchte und weniger als zwei Jahre später so glücklich war, noch einen kleinen Planeten zu finden, die Hebe, begann eine allgemeine Jagd nach diesen winzigen Himmelswesen, die von nun an ausnahmslos jedes Jahr einen oder mehrere derselben ans Licht zog und heute mit den Hilfsmitteln der Photographie mit immer noch steigendem Erfolge betrieben wird. Das erste Hundert kleine Planeten war 1868 voll geworden, das zweite 11 Jahre darauf, das dritte wieder nach 11 Jahren, 1890; fünf Jahre später, 1895, waren es abermals hundert mehr geworden, und das erste halbe Tausend hat Wolf in Heidelberg am 16. Januar 1903 voll gemacht. Von diesen Planeten hat Palisa in Wien allein 83 entdeckt; nach ihm war der erfolgreichste Planetenjäger Charlois in Nizza, der einige fünfzig auf photographischem Wege fand, während augenblicklich Wolf wohl die meisten dieser winzigsten Mitbürger unseres Sonnenreiches auf seinen Platten findet. Man hat bei dieser Fülle natürlich Mühe, sich zu vergewissern, ob es sich bei der Auffindung eines Planetenstriches wirklich auch um einen neuen, vorher noch nicht gesehenen Körper handelt. Es kann dies nur geschehen, indem man die Orte aller anderen am Himmel vorausberechnet und nun die gefundene Position mit diesen „Ephemeriden" vergleicht. Man wird begreifen, daß diese Vorausberechnungen, die das Berliner astronomische Recheninstitut seit alters her übernommen hat, nach und nach zu einer kaum noch zu bewältigenden Arbeit geworden sind. Es vergeht deshalb oft geraume Zeit, bis eine neue Auffindung endgültig in die Reihe der neuen Entdeckungen aufgenommen werden kann. Erst dann bekommt der neue Körper seine laufende Ordnungsnummer, die man zum Zeichen, daß es sich um einen kleinen Planeten handelt, auch wohl mit einem Kreise umgibt. Der Entdecker hat das Recht, ihm einen Namen zu geben. In ihrem provisorischen Stadium bezeichnet man die noch nicht identifizierten neuen Auffindungen mit zwei großen lateinischen Buchstaben nach einer hier nicht weiter interessierenden Reihenfolge. So trug z. B. der am 19. Februar 1903 in Heidelberg photographierte kleine Planet zuerst die Bezeichnung LO und erhielt dann den Namen Laodica mit der Nummer 507.

Naturgemäß wurden mit der Vervollkommnung der optischen Hilfsmittel und der Methoden immer kleinere Körper aufgefunden, während verhältnismäßig größere nicht mehr oder nur noch selten, hinzukamen. Wir können deshalb heute ziemlich sicher sein, daß unbekannte größere Asteroiden in diesem Ringe, etwa bis zur 9. Größenklasse nicht mehr existieren, wir also die an Ausdehnung wichtigsten dieser Klasse von Gestirnen kennen gelernt haben. Es scheint auch aus statistischen Zusammenstellungen hervorzugehen, daß für die Kleinheit dieser Körper eine Grenze existiert, die nicht etwa von dem Unvermögen unserer Sehwerkzeuge herrührt. Immerhin ist geschätzt worden, daß mit unseren gegenwärtigen Hilfsmitteln etwa 5000 dieser Liliputwelten auffindbar sind.

Alle diese Gestirne, mit Ausnahme der drei größten, erscheinen auch in den besten Fernrohren als bloße Punkte, ohne meßbare Ausdehnung. Man kann deshalb nicht anders über ihre wahren Größen einige Anhaltspunkte gewinnen, als durch dieselbe photometrische Methode, die uns bereits bei Gelegenheit der Marsmonde aushelfen mußte. Wir wissen, daß wir zu diesem Ende gewisse Voraussetzungen über die lichtreflektierende Kraft der Oberflächen der Gestirne machen müssen. Das ist aber immer eine mißliche Sache, wenn man sieht, in wie verschiedener Weise die Planeten mit sichtbaren Durchmessern das Licht zurückwerfen. Setzt man z. B. die Albedo für Mars gleich 1, so erhält man nach Müllers sorgfältigen photometrischen Untersuchungen folgende Werte für die Albedo der großen Planeten:

Merkur	0,64	Mars	1,00	Saturn	3,28	Neptun	2,36
Venus	3,44	Jupiter	2,79	Uranus	2,73		

Welche von diesen Zahlen sollte man für den Durchschnitt der Asteroiden wählen? Dies mußte mehr oder weniger der Willkür überlassen bleiben, da wir über die Oberflächenbeschaffenheit dieser Gestirne schlechthin nichts wissen. Gewisse Lichtschwankungen, die unabhängig von der wechselnden Entfernung von uns durch die veränderte Stellung zur beleuchtenden Sonne bei einigen Planetoiden deutlich auftraten, machten es wahrscheinlich, daß ihre physische Beschaffenheit der des Mars, bei anderen der des Merkur einigermaßen ähnlich sei. Unter der Voraussetzung also, daß die Albedo dieser Himmelskörper entweder dem einen oder dem anderen großen Planeten gleich sei, findet man die in der folgenden Tabelle unter den betreffenden Zahlen angegebenen Werte für ihre Durchmesser.

Durchmesser der drei hellsten Asteroiden in Kilometern (nach Müller und Barnard).

	Albedo 0,64:	Albedo 1,00:	Direkte Messung:	Albedo nach Barnard:
Ceres	475 km	379 km	770 km	0,67
Vesta	473 -	377 -	380 -	2,77
Pallas	354 -	282 -	490 -	0,88

Die vorletzte Zahlenreihe ist das Resultat direkter Durchmesserbestimmungen, welche Barnard mit Hilfe des großen Yerkes-Refraktors 1900 geglückt sind. Nur in diesem und dem früher von demselben Beobachter benutzten Lick-Fernrohre gelang es, die ganz kleinen, sich auch bei kräftigeren Vergrößerungen kaum von einem Punkt unterscheidenden Scheibchen deutlich genug zu erkennen, um mikrometrische Messungen ihrer Ausdehnung mit vertrauenerweckender Sicherheit auszuführen. Die Barnardschen Durchmesser müssen natürlich gegenüber den Müllerschen Werten, die unter gewissen, nicht kontrollierten Voraussetzungen entstanden, eine weit größere Wahrscheinlichkeit für sich in Anspruch nehmen. Es konnte hieraus nun das wirkliche Rückstrahlungsvermögen dieser Körper im Vergleich zu dem des Mars bestimmt werden, welche in der letzten Zahlenreihe angegeben sind. Die sehr große Abweichung zwischen dem von Müller gefundenen, in der ersten und zweiten Zahlenreihe gegebenen Durchmesser der Ceres und dem Barnardschen Werte dafür beweist, daß die gemachte Annahme über ihre lichtreflektierende Kraft völlig falsch war; die Oberfläche dieses Gestirnes verschluckt weit mehr Licht als irgend einer der permanenten Körper des Sonnensystems; Ceres ist ein außergewöhnlich dunkler Körper. Hieraus wieder kann man mit einiger Wahrscheinlichkeit schließen, daß *Ceres keine Atmosphäre* hat, denn alle großen Planeten, die sicher von Dunsthüllen umgeben sind, haben eine große Albedo, sind sehr hell durch die reflektierende Kraft der Wolkengebilde. Vesta dagegen zeigt eine Albedo, die der des Jupiter gleicht, dessen Licht von einer dichten Atmosphäre zurückgeworfen wird. Wir können eine solche also auch für den hellsten der Planetoiden annehmen. Auch spektroskopisch ist eine solche angedeutet. Pallas aber, die man bis dahin immer für kleiner gehalten hat als Vesta, stellt sich als größer, also gleichfalls dunkler heraus, als angenommen wurde. Nach Barnards Messungen sind die beiden letztgenannten Körper 26- und 33mal im Durchmesser kleiner als unsere Erde, Ceres 17mal. *Juno*, der vierte Planetoid, ist aber schon beträchtlich kleiner. Barnard fand ihren Durchmesser nur zu 190 km.

Bei allen anderen kleinen Planeten sind wir bezüglich ihrer Größenschätzung durchaus auf die photometrische Methode angewiesen, die für die kleinsten Werte bis zu 9 km Durchmesser herab ergibt; diese wären also nur wenig größer als die Marsmonde. Unsere Erfahrungen an Ceres haben jedoch gezeigt, daß diese Werte unter Umständen bis vielleicht

auf das Doppelte sich erhöhen können. Daß dagegen diese Körper in Wirklichkeit kleiner seien, als die photometrischen Messungen ergeben, ist höchst unwahrscheinlich, da dies eine größere Albedo und folglich wieder Atmosphären um diese winzigen Gestirne zur Voraussetzung haben würde, die aus später zu erörternden Gründen bei den kleineren kaum denkbar sind. Nimmt man die photometrischen Durchmesser als die richtigen an, so ergibt die Rechnung, daß alle bekannten kleinen Planeten, in einen einzigen vereinigt gedacht, einen Körper ausmachen würden, dessen Durchmesser zwanzigmal kleiner wäre als der der Erde. Nach den Barnardschen Messungen ist indes dieses Verhältnis zu niedrig gegriffen; immerhin sieht man, daß die Gesamtheit der Asteroiden viel weniger in die Wagschale fällt als der kleinste der übrigen Planeten, Merkur.

Eine besondere Stellung unter dieser Schar von kleinen Himmelswesen nimmt der am 13. August 1898 von G. Witt an der Urania-Sternwarte zu Berlin entdeckte Planet ein, der die Nummer 433 und den Namen E r o s erhalten hat. Es erwies sich zunächst, daß die Bahn, die er um die Sonne beschreibt, dieser wesentlich näher liegt als die aller übrigen Glieder der Gruppe, so daß der Planet zum größten Teil i n n e r h a l b der Marsbahn wandelt und dabei der Erde näher kommt als irgend ein anderer permanenter Himmelskörper, unseren Mond ausgenommen. Diese Bahnverhältnisse interessieren uns hier zwar zunächst nur insofern, als wir erkennen, daß diese kleinen Körper nicht ausschließlich in der auf S. 148 gekennzeichneten Lücke zwischen Mars und Jupiter vorkommen. Dies wird auch in der anderen Richtung durch ein Gegenstück zu Eros dargetan, den am 22. Februar 1906 Wolf in Heidelberg auf einer Platte zugleich mit zwei schon bekannten Planetoiden fand, und dem er die provisorische Bezeichnung TG gab. Die vorläufig berechnete Bahn läßt nämlich keinen Zweifel darüber, daß dieser Planet sich meistens weiter von der Sonne entfernt befindet als Jupiter. Zu diesem sind 1906 und 1907 noch zwei andere kleine Planeten mit ähnlichen Bahnen auf der Heidelberger Sternwarte entdeckt worden. Man hat ihnen die Namen A c h i l l e s (für jenen oben genannten Planeten TG mit der Nummer 588), P a t r o k l u s (VY) und H e k t o r (XM) gegeben. Es spricht gegenwärtig alles dafür, daß ü b e r a l l im Planetensystem kleine Körper um die Sonne laufen, die sich nur zwischen Mars und Jupiter besonders dicht geschart haben.

Die Bahn des Eros ist nun so beschaffen, daß er sich in seinen verschiedenen Oppositionen, wenn er also gerade jenseit der Sonne steht, uns um sehr verschiedene Beträge nähern kann. Daher ist er auch während dieser etwa alle zwei Jahre wiederkehrenden Erdnähen sehr verschieden hell. Bei seiner Entdeckung war er neunter Größe. Er konnte dann auf den Himmelsaufnahmen der Harvard-Sternwarte in Cambridge (Nordamerika) noch bis zum Jahre 1893, also fünf Jahre vor seiner Entdeckung, zurückverfolgt werden, wodurch seine Bahn mit großer Genauigkeit berechnet werden konnte. Es ergab sich daraus, daß der kleine Planet im Januar 1894 bis zur siebenten Größenklasse zugenommen haben und damals also beinahe mit bloßem Auge sichtbar gewesen sein mußte, ohne daß ihn jedoch jemand bemerkt hatte. In eine besonders günstige Lage wird der Planet 1924 zur Erde gelangen und dann nur 20 Millionen km von ihr entfernt und sogar bis zur sechsten Größenklasse angewachsen sein. Venus, der uns sonst nächstkommende Planet, bleibt 37 Millionen km von uns entfernt. Diese großen Annäherungen des Eros sind, wie wir noch später verstehen lernen werden, von großer Wichtigkeit für die messende Astronomie, weil sie dadurch in die Lage versetzt wird, die astronomische Einheit des Längenmaßes, mit dem

die Entfernungen am Himmel ausgemessen werden, den Abstand der Sonne von uns, mit größerer Genauigkeit zu bestimmen, als es bisher möglich war.

Der kleine Planet bewegt sich in 643 Tagen einmal um die Sonne, während Mars dazu 687 Tage gebraucht. Sein Durchmesser mag ungefähr 100 km betragen.

Der Bestimmung dieser Ausdehnung treten indes dadurch besondere Schwierigkeiten entgegen, daß Eros, abgesehen von den nur durch seine wechselnde Entfernung bedingten Helligkeitsänderungen, noch andere zeigte, die ein ganz eigenartiges Interesse in Anspruch nehmen. Eros änderte nämlich sein Licht um die sehr merkliche Größe von nahezu einer Größenklasse regelmäßig innerhalb der kurzen Zeit von 5 Stunden 17 Minuten, und während dieser Periode selbst kam immer noch einmal eine geringere Lichtschwankung vor, so daß von einem gewissen Minimum zum nächsten Maximum 1 Stunde 20 Minuten vergingen, dann zum Minimum 1 Stunde 31 Minuten, zum nächsten Maximum 1 Stunde 18 Minuten, also nahezu ebensoviel wie vorhin, dann aber zum nächsten Minimum nur 1 Stunde 8 Minuten, das sind 23 Minuten weniger als bei der vorangegangenen Schwankung zum Minimum herab. So wiederholte sich der eigentümliche Turnus eine Zeitlang regelmäßig. Man kann die Erscheinung auf zweierlei Weise deuten. Der Planet kann aus zwei ganz dicht nebeneinander befindlichen Körpern bestehen, die in 5 Stunden 17 Minuten umeinander kreisen und sich dabei zeitweilig derart verdecken, daß dadurch für unseren Standpunkt jenes Spiel der Lichtschwankungen entsteht. Wir werden später sehen, daß in der Welt der Fixsterne solche Verhältnisse in der Tat stattfinden. Es ist aber auch möglich, daß Eros keine Kugelgestalt besitzt, sondern von unregelmäßigen Flächen begrenzt ist, die verschiedenes Reflexionsvermögen, verschiedene Albedo, haben, während sich der ganze Körper um sich selbst dreht und dabei uns diese verschieden hellen Seiten periodisch zuwendet. Man hat deshalb Eros für einen „Weltsplitter" angesehen, der durch einen Zusammenstoß mit einem anderen kleinen Planeten zertrümmert und aus seiner ursprünglichen Bahn so sehr in die Nähe der Erde versprengt worden sei. Dies könnte möglicherweise vor noch nicht langer Zeit geschehen sein, wodurch es sich erklären würde, daß man den zuzeiten so auffälligen Körper vorher niemals sah. Dann könnte durch einen ähnlichen Vorgang auch gelegentlich ein solcher Körper so nahe gegen die Erde oder einen anderen Planeten geschleudert werden, daß er in deren Anziehungssphäre bleiben und zu einem kleinen Monde dieser Planeten werden könnte. Es ist nicht ausgeschlossen, daß die kleinen Monde des Mars und die jüngst entdeckten winzigen Satelliten bei Jupiter und Saturn einen solchen Ursprung haben, worauf wir später zurückkommen.

Auch an anderen kleinen Planeten hat man Lichtschwankungen, wenn auch in viel schwächerem Maße, wahrgenommen, und diese Andeutungen mehren sich, seit man durch Eros darauf wieder hingewiesen wurde. Namentlich bei Iris 7, einem der größeren unter dem Schwarme, die ein deutlich rötliches Licht, ähnlich dem des Mars, zeigt, hat man schon früher solche plötzliche Helligkeitsschwankungen bemerkt. Nach Wendell zeigt sie eine Periode von 6 Stunden 13 Minuten. Bei Hertha 135 bemerkte Palisa einen ähnlichen Helligkeitswechsel von 10,0 zu 10,7. Größe, und Wolf bei Sirona 164 und Terzidina 345, die in einer Zeit von 90 und 114,5 Minuten erfolgen. Es ist also wohl anzunehmen, daß diese kleinen Körper sich in so kurzer Zeit um eine Achse drehen. Geschieht dies, so kann man bei diesen sehr kleinen Körpern wohl verstehen, daß sie ganz wesentlich von der Kugelgestalt abweichen müssen, weil dann auf ihrer Oberfläche die Schleuderkraft die der Schwere



nahezu überwindet und die Körper auseinander zu reißen trachtet. Interessante Rechnungen hat in dieser Hinsicht jüngst J. Hartmann angestellt, deren theoretische Grundlage wir erst später geben können. Für Terzidina, die 11,2. Größe ist und danach in Wirklichkeit vielleicht 66 km Durchmesser besitzt, würde die Schwerkraft auf ihrer Oberfläche, wenn sie aus Gesteinsarten wie die der Erdoberfläche (spezifisches Gewicht 2,7) besteht, nur noch den 400. Teil der bei uns herrschenden sein, d. h. ein irdisches Kilo nur noch 2,5 Gramm wiegen. Hartmann zeigt dann weiter, daß die durch die Beobachtung angedeuteten Rotationszeiten nahe der Grenze sind, wo die dadurch entstehende Zentrifugalkraft einen betreffenden Körper bestandunfähig macht.

Noch in mancher anderen Hinsicht bieten die kleinen Planeten Interesse dar. Es würde sich gewiß nicht der Mühe des Aufsuchens und namentlich der fortdauernden Berechnung des Weges dieser kleinen Geschöpfe lohnen, wenn sie unser Wissen nicht vielseitig zu bereichern imstande wären. Die Lagenverhältnisse ihrer Bahnen, ihre Annäherungen und Bewegungen bieten viele interessante und für die Erforschung der waltenden Gesetze wichtige Gesichtspunkte dar, die wir im zweiten Hauptteile kennen lernen werden.

---

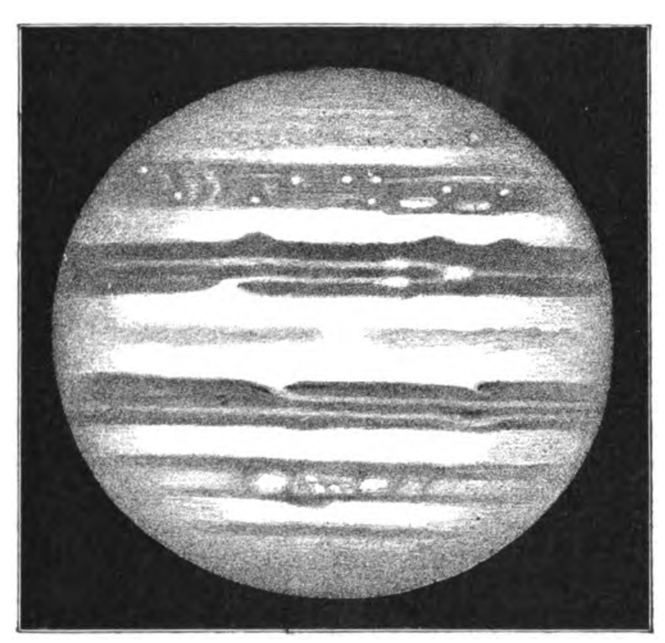
6. Jupiter.

An der äußeren Grenze des Ringes, in dem die winzigsten Geschwistergestirne der Erde in wimmelnden Scharen durch den Weltraum ziehen, bewegt sich der größte aller Planeten, Jupiter, um die Sonne, der er nicht nur durch seine Größe, sondern auch durch seine physische Beschaffenheit unter allen anderen Körpern unseres Systems am meisten verwandt ist. Kann auch der etwas gelblich angehauchte Glanz des Jupiter, dessen wir uns alljährlich mehrere Monate hindurch die ganze Nacht erfreuen, zeitweilig von dem der Venus überstrahlt werden, so ist doch sein Licht bei weitem nicht so großen Schwankungen unterworfen: majestätische Kraft, olympische Ruhe und Gleichmäßigkeit im Wechsel der Erscheinungen sind die Charakterzüge, die ihm im Altertum den Namen des Vaters der Götter eingetragen haben, als man das in Wirklichkeit so gewaltige Übergewicht dieses Gestirnes über seine Genossen im Sonnenreiche nur vorahnen konnte. (S. die farbige Tafel bei S. 171.)

Entsprechend den verhältnismäßig geringen Schwankungen der Helligkeit des Jupiter bemerken wir im Fernrohre, daß sein Durchmesser lange nicht so veränderlich ist wie der aller übrigen bisher betrachteten großen Planeten. Der größte Durchmesser des Jupiter, der, wie beim Mars, beobachtet wird, wenn er sich in Opposition zur Sonne befindet, beträgt 49,5″; er wird also niemals so groß wie der der Venus (65,2″). Der kleinste Durchmesser dagegen, in der Konjunktion, ist etwas über 30″, also dreimal größer als bei der Venus, wenn sie in entsprechender Lage jenseits der Sonne steht. Die auf S. 155 und 157 stehenden Abbildungen sind im Verhältnis dieser extremen Größen ausgeführt. Hält man beide Zeichnungen in 1 m Entfernung vom Auge, so entsprechen sie der scheinbaren Ausdehnung des Jupiter bei 300facher Vergrößerung.

Phasen zeigt Jupiter in noch geringerem Maß als Mars, wenngleich sie im Fernrohr um die Zeit der Quadraturen zur Sonne unschwer bemerkt werden. Diese geringen Phasendefekte während der etwas mehr als 13 Monate betragenden synodischen

Umlaufszeit, verbunden mit den geringen Durchmesserschwankungen, lassen ohne weiteres vermuten, daß Jupiter beträchtlich weiter von der Sonne entfernt kreisen muß als Mars. Genauere Bestimmungen ergeben für diese Entfernung 5,2 derjenigen unserer Erde, also rund 773 Millionen km. Der wahre Durchmesser ergibt sich nach Barnards Messungen von 1900 in der Richtung des Planetenäquators zu 145,100 km. Der Riesenplanet ist also an Ausdehnung elfmal größer als unsere Erde und nur zehnmal kleiner als die Sonne selbst. Die Oberfläche gewährt beim Jupiter nicht weniger als 117mal mehr Platz zur Ausbreitung des Lebens als unser planetarischer Wohnsitz. Denkt man sich die gesamte Erdoberfläche als einen Teil von der des Jupiter, so würde sie im Verhältnis noch nicht so viel Raum einnehmen wie auf der Erde das europäische Rußland.



Jupiter, gezeichnet am 10. Juli 1889 auf der Lyck-Sternwarte von Keeler. Vgl. Text, S. 154 u. 158.

Beim teleskopischen Anblick dieses Planeten springt sofort eine Eigentümlichkeit in die Augen, die uns an den bisher betrachteten Mitgliedern des Sonnensystems nicht auffiel: seine Abplattung. Schon das Augenmaß zeigt, daß die scheinbare Scheibe des Jupiter, von Osten nach Westen gemessen, einen größeren Durchmesser hat als in der Richtung von Norden nach Süden. Der Unterschied zwischen beiden Durchmessern beträgt etwa den 16. Teil ihrer Länge, das macht etwa 9000 km, um die der Weg von Pol zu Pol auf Jupiter kleiner ist als der von einem Punkte des Äquators zu einem anderen durch den Mittelpunkt des Planeten. Der Polardurchmesser des Jupiter ist also nur gleich 136,100 km (Barnard). Daß wirklich diese Abplattung an den Polen, d. h. den Punkten stattfindet, durch welche die Rotationsachse des Planeten geht, lehren die scheinbaren Bewegungen der Oberflächendetails, von denen sogleich die Rede sein wird. Jupiter zeigt hier also eine mit unserer Erde gemeinsame Eigenschaft, die bei Merkur, Venus und Mars nicht mit Sicherheit wahrgenommen wurde.

Die Abplattung eines Planeten muß in einem bestimmten Verhältnisse zu seiner Umschwungsgeschwindigkeit stehen, was ohne weiteres ersichtlich wird, wenn man bedenkt, daß die Anschwellung am Äquator der abgeplatteten Kugeln offenbar eine Folge der Fliehkraft ist, die mit der Geschwindigkeit des Kreisens wächst. Kennt man die Geschwindigkeit eines Punktes am Äquator eines Planeten, und weiß man zugleich etwas über die Dichte seiner Masse, die seine Widerstandskraft gegen das Bestreben der Abschleuderung bedingt, so kann man die theoretisch notwendige Abplattung berechnen. Für die Erde

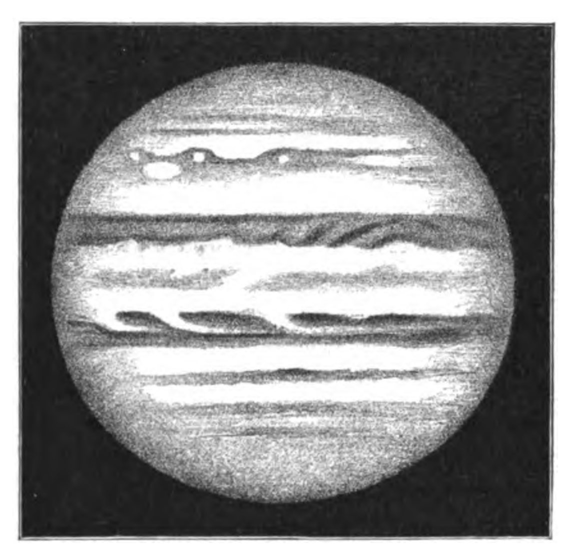
stimmt sie mit der direkt gemessenen überein. Für Merkur, Venus und Mars ergeben sich, selbst wenn man für die beiden ersten noch Umlaufszeiten von etwa einem Tage annimmt, auf diese Weise Werte, die an der Grenze unseres Meßvermögens liegen. Bei Mars würde der Unterschied zwischen dem Polar- und dem Äquatorialdurchmesser etwa den zehnten Teil einer Bogensekunde betragen, oder 150—200mal weniger als die Breite eines Menschenhaares, das man in deutlicher Sehweite vom Auge hält.

Die so ungemein starke Abplattung des Jupiter ließe also allein aus theoretischen Erwägungen den Schluß zu, daß der Planet sich sehr schnell um seine Achse drehen müsse. Die Beobachtung bestätigt dies. Die mittlere Umdrehungsgeschwindigkeit des gewaltigen Planeten ist nur 9 Stunden 55½ Minuten. So lang nur ist also der Tag auf Jupiter, seine helle und dunkle Hälfte zusammengenommen; die ganze Zeit, während der die Sonne einem etwaigen Bewohner des Jupiter scheint, ist nicht länger als bei uns ein Wintervormittag. Zieht man nun in Betracht, daß der elfmal größere Jupiter auch einen ebensoviel größeren Äquatorumfang hat als unsere Erde, so ergibt sich aus der 2½mal größeren Winkelgeschwindigkeit seines Umschwunges, daß ein Punkt des Jupiteräquators 26 bis 27mal schneller im Kreis um den Mittelpunkt des Planeten geführt wird, als es bei uns der Fall ist. Diese Geschwindigkeit erreicht dort die erstaunliche Größe von 12½ km in der Sekunde. Wir begreifen daher auch ohne den Beweis der Rechnung die starke Abplattung und dürfen uns beim ersten Blick darüber wundern, daß nicht infolge dieses unvorstellbar gewaltigen Umschwunges die Oberflächenteile des Äquators überhaupt in den Weltraum hinausgeschleudert werden. Auf der Erde bewegt sich ein Gegenstand am Äquator in einer Sekunde 465 m vorwärts; das ist schon so schnell, wie unsere besten Geschosse fliegen; auf dem Jupiter aber verhält sich diese Geschwindigkeit gegen die der Erde so wie die einer Flintenkugel zu der eines Eisenbahnzuges.

Diese ungeheure Geschwindigkeit veranlaßte Deslandres in Paris zu einer höchst interessanten Beobachtung, die auf dem früher (S. 61) dargestellten Dopplerschen Prinzip beruht. Während der Rotation entweichen die Partien des einen Jupiterrandes von uns um 12,4 km in der Sekunde, am anderen nähern sie sich uns mit derselben Geschwindigkeit; die Geschwindigkeit der Lichtwellen, die vom Ost- und vom Westrande des Planeten zu uns gelangen, ist also 24,8 km voneinander verschieden. Dazu kommt, daß diese Ränder auch dem Sonnenlichte ausweichen oder ihm entgegenkommen, bevor sie es zu uns reflektieren. Die Wirkung wird dadurch verdoppelt, der Unterschied der Lichtgeschwindigkeit beträgt also für beide Ränder nicht weniger als 49,5 km, welche durch Messung der Linienverschiebung heute mit großer Sicherheit nachgewiesen werden kann. Die spektroskopische Untersuchung ergab in der Tat 47,3 km als eine sehr schöne Bestätigung des Dopplerschen Prinzips, das sich bei Erforschung der Fixsternwelt in vieler Hinsicht als ungemein fruchtbar erwiesen hat.

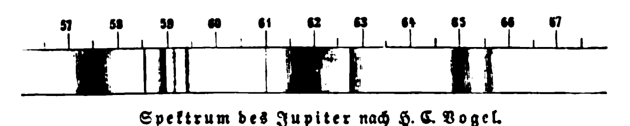
Die spektroskopischen Beobachtungen sprechen viel deutlicher als bei den bisher betrachteten Planeten von dem Vorhandensein einer Atmosphäre auf Jupiter. Es treten nicht nur unzweifelhaft die oft erwähnten „tellurischen Banden" im Rot auf, die unsere Erdatmosphäre charakterisieren und beim Jupiter auch dann erscheinen, wenn durch seinen hohen Stand der Einfluß unserer Luft auf das Spektrum ohne Belang sein würde, sondern es zeigt sich noch eine breite Absorptionsbande im Rot, deren Mitte eine Wellenlänge von 618 Mikron (1 Mikron, auch $\mu\mu$ geschrieben, = 1 Milliontel mm) hat. Die Zeichnung auf Seite 157 unten

gibt das Jupiterspektrum mit seinen Absorptionsbanden nach H. C. Vogel wieder. Es ist danach sicher, daß der gewaltige Planet von einer stark absorbierenden, d. h. sehr dichten und mächtigen Atmosphäre umgeben ist, deren chemische Zusammensetzung wohl im ganzen der unsrigen nicht unähnlich ist, aber doch auch in irgend einem vorerst nicht genau zu bestimmenden Stücke von ihr abweicht, wie die Bande bei 618 $\mu\mu$ beweist. Auch die 1903/04 in Meudon bei Paris von Millochan photographisch erhaltenen Spektren des Jupiter zeigen nebst anderen bei 607, 600, 578 und 515, die der Atmosphäre des Planeten angehören, diese Bande bei 618. Dieselbe kommt auch, wie wir gleich voranschicken wollen, bei den übrigen noch entfernteren Planeten vor, die eine Gruppe für sich bilden, nicht aber in den Spektren der inneren Planeten Merkur, Venus, Mars und nicht in dem der irdischen Atmosphäre. Wir müssen diese Bande einem bei uns noch unbekannten, zweifellos sehr leichten Gase zuschreiben, das sich in den Lufthüllen jener größeren Planeten noch halten kann, nicht aber bei uns und den uns verwandten kleineren sonnennäheren Planeten.



Jupiter, gezeichnet am 15. Juli 1889 auf der Lick-Sternwarte von Keeler. Vgl. Text, S. 154.

Die Jupiteroberfläche zeigt, wie wir gleich näher sehen werden, neben gelblichweißen Streifen auch dunkle, ins Rötliche stechende. Es war natürlich von Interesse, beide Regionen getrennt spektroskopisch zu untersuchen, und man fand, daß bei den dunkeln Gebieten nicht nur eine allgemeine Abschwächung der Intensität des Spektrums eintrat, sondern auch eine deutliche Verbreiterung der dunkeln Banden, woraus folgt, daß hier die größere Absorption durch ein tieferes Eindringen des Sonnenlichtes in die Jupiteratmosphäre stattfindet: die helleren Regionen müßte man also nach dem Zeugnis des Spektroskops für Wolken erklären, die in den höchsten Teilen der Jupiteratmosphäre schweben, die dunkleren für Lücken, durch die man vielleicht Teile der Planetenoberfläche erblickt. Merkwürdig ist, daß nach Vogel das *Spektrum des Jupiter Schwankungen* ausgesetzt zu sein scheint, die einerseits mit den von Müller gefundenen allgemeinen Helligkeitsschwankungen, anderseits aber mit der periodisch veränderlichen Sonnentätigkeit zusammenhängen. Die allgemeine Helligkeit, also die *Albedo* des Planeten, hat nach Müller den sehr hohen Wert von 2,79 (die des Mars gleich 1 gesetzt), der nur von Venus und Saturn übertroffen wird. Daß mit dieser auch die Helligkeit des Spektrums schwankt, ist eine fast selbstverständliche Folge. Es ist aber zugleich eine Veränderung desselben in dem Sinne zu bemerken, daß es sich dabei dem Charakter der helleren Gebiete nähert: die von der Sonne herrührenden



Spektrum des Jupiter nach H. C. Vogel.

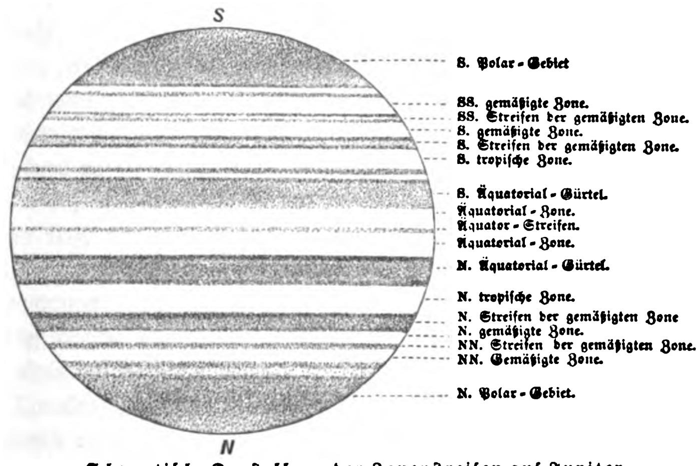
Fraunhoferschen Linien werden kräftiger, die von der Jupiteratmosphäre gebildeten Absorptionsbanden dagegen schwächer. Wir könnten also schon aus den spektroskopischen Beobachtungen die Vermutung ableiten, zu jener Zeit sei die Wolkenentwickelung auf Jupiter bedeutender, und dies bestätigen die Albedobestimmungen insofern, als eine höhere Albedo nach der Erfahrung mit den übrigen Planeten eine dichtere Wolkenbedeckung voraussetzen läßt.

Nicht so leicht ist die Übereinstimmung mit der Sonnentätigkeit zu erklären. Gerade um die Zeit, wenn die Sonne häufiger von Flecken verdunkelt wird, man also wohl den Schluß ziehen dürfte, daß ihre allgemeine Helligkeit abgenommen habe, erhöht sich die des Jupiter. Auch die Färbung der Streifen ist, wie Stanley Williams durch Vergleichungen einer großen Zahl von Jupiterzeichnungen, die bis 1836 zurückreichen, fand, einer Periode von etwa 11—12 Jahren unterworfen, während welcher die Intensität der Färbung zwischen der nördlichen und südlichen Jupiterhalbkugel schwankt. So waren die Streifen der nördlichen Seite 1891/92 und dann wieder 1903 am stärksten gefärbt, die der südlichen 1897. Nach Wonaszek ist auch die Bandbildung an sich dieser selben Periode unterworfen. Wir werden im Kapitel von der Sonne sehen, wie deutlich deren wechselnde Tätigkeit auf die Zustände in der irdischen Atmosphäre eingreift, so daß wir einen ähnlichen Einfluß auf Jupiter wohl erklärlich finden werden.

Wenden wir uns von diesen allgemeinen Äußerungen des Lichtes zu den spezielleren Wahrnehmungen auf der Planetenoberfläche, so finden wir zunächst unsere Überzeugung von dem Vorhandensein dichter Wolkenzüge in der Jupiteratmosphäre völlig bestätigt. Schon das geringste Fernrohr zeigt auf dem großen Planeten Streifenbildungen, die parallel geordnet sind und der leuchtenden Scheibe das Aussehen geben, als ob man einen Planiglob vor sich hätte, auf dem die Zonen kräftig eingezeichnet sind. Mit besseren Sehmitteln erkennt man aber, daß diese helleren und dunkleren Zonen keine scharf begrenzten Ränder haben, daß die eine gelegentlich in die andere übergreift, daß auch innerhalb der Zonen hellere und dunklere Flecke und überhaupt vielerlei Unregelmäßigkeiten vorkommen. Dabei zeigt keine der Zonen einen ganz beständigen Charakter, obgleich einige der Oberflächengebilde wohl selbst mehr als ein Jahrzehnt im großen und ganzen bestehen bleiben, wie der sogenannte „rote Fleck“, auf den wir nachher zu sprechen kommen. Auch die allgemeine Verteilung der hellen und dunkeln Parallelstreifen bleibt ziemlich unverändert, so daß man eine bestimmte Nomenklatur nach der auf Seite 159 gegebenen Skizze einführen konnte. In der Mitte der Scheibe, wohin man wegen der beobachteten Rotationsbewegungen des Planeten seinen Äquator verlegen muß, zeigt sich vor allem ein ziemlich breiter, glänzend weißer Gürtel, der häufig gerade da, wo ihn der Äquator schneidet, von einem schmalen, dunkeln Bande getrennt wird. Die Breite der Äquatorialzone wurde 1889 auf der Lick-Sternwarte etwa gleich 37,000 km gefunden, inbegriffen die beiden breiten dunkeln Äquatorialbanden, die den hellen Gürtel nördlich und südlich umgeben. Nun folgt auf beiden Halbkugeln ein System von schmalen hellen und dunkeln Streifen, welche die „gemäßigte Zone“ des Jupiter darstellen; am Nord- und Südpol erscheinen dunkle Kappen, die nur höchst selten irgendwelches Detail aufweisen. Sind also die weißen Gebilde auf dem Planeten wirklich Wolken, so ersehen wir aus dieser sehr deutlichen Einteilung derselben in eine tropische, je zwei gemäßigte und Polarzonen, daß im Luftkreise des Jupiter eine Arbeit geleistet wird, eine Zirkulation stattfindet, die in ihren

Grundzügen der unsere Atmosphäre bewegenden gleicht. Auch auf der Erde ordnen sich die großen Wolkenzüge nach Zonen, die, von außen gesehen, ungefähr zueinander und zum Äquator parallele Ränder zeigen würden: in den Tropen würde ein weißer Gürtel die Gebiete erkennen lassen, in denen die Regenzeit herrscht, und diejenige gemäßigte Zone, die ihren Sommer hat, würde im allgemeinen einem außerirdischen Beschauer dunkler erscheinen als die auf der entgegengesetzten Hemisphäre, weil der Sommer eine Aufheiterung der Luft bedingt, die den Durchblick auf das dunkle Erdreich ermöglicht.

Allerdings bemerken wir auf der Erde keine so vielfache und verhältnismäßig scharfe Abgrenzung paralleler Wolkenstreifen wie auf Jupiter. Dieser Parallelismus ist eine Folge der Umschwungsbewegung. Bei der Luftzirkulation von den Polen zum Äquator und zurück kommen die Wolkengebilde beständig in Regionen anderer Geschwindigkeit. Am Äquator beträgt diese, wie wir wissen, bei Jupiter etwa 12½ km; unter den Polen ist sie gleich Null. Gelangt nun ein Luftstrom vom Äquator in höhere Breiten, so wird er der dort herrschenden mittleren Geschwindigkeit vorauseilen, also, da die Bewegung der beiden in Rede stehenden Planeten von Westen nach Osten erfolgt, einen Westwind erzeugen, wie er als Höhenpassat auf der Erde in entsprechender Entfernung vom Äquator beobachtet wird. Das Umgekehrte wird bei den Strömungen von den Polen zum Äquator eintreten müssen, die gegen die Rotation zurückbleiben. Ähnliches findet auch bei der auf- und absteigenden Luftbewegung statt. Bei gleicher Winkelgeschwindigkeit müssen höher gelegene Teile der Lufthülle einen größeren Weg zurücklegen als tiefere; ein aufsteigender Luftstrom wird daher gegen die Rotation zurückbleiben und Ostwind erzeugen, ein niedersteigender hingegen Westwind. Da aber unter dem Äquator wegen der beständigen Sonnenbestrahlung auch ein beständiger, aufwärts gerichteter Luftstrom erzeugt wird, so bildet sich zu beiden Seiten des Äquators in den oberen Regionen der unausgesetzt wehende Ostpassat, und im allgemeinen müssen wir schließen, daß an der Oberfläche die Westwinde, in den oberen Luftschichten die Ostwinde vorherrschen müssen, was die Beobachtung auf der Erde bestätigt.



Schematische Darstellung der Zonenstreifen auf Jupiter.
(Am Rande ist die eingeführte abgekürzte Bezeichnung der Zonen angegeben.)

Die beobachteten Zustände und Veränderungen auf der Jupiteroberfläche zeigen nun auf das deutlichste, daß dort durchaus ähnliche, gegen die der Erde noch wesentlich verstärkte Zirkulationen stattfinden. Man erkennt dies namentlich an den hinter der Rotationsbewegung regelmäßig zurückbleibenden Ausläufern des hellen Äquatorialstreifens, wie sie beispielsweise in einer am 36zölligen Refraktor der Lick-Sternwarte ausgeführten Zeichnung Keelers vom 10. Juli 1889 schön hervortritt (S. 155). Man hat sich hier aufsteigende

Luftströmungen zu denken, die in die obersten Regionen der zweifellos sehr hohen Atmosphäre gelangen, dort gegen die Rotation des Planeten zurückbleiben und deshalb umbiegen. Die äußersten Spitzen verlaufen dann allmählich in dem dunkleren Gebiete, nachdem sich das Ganze streifenartig ausgezogen hat. Offenbar sind auch die weniger veränderlichen Streifen der beiden gemäßigten Zonen auf eine ähnliche Weise entstanden. Man erkennt dies an der viel langsameren Umlaufsbewegung, die sich an hier beobachteten Details bemerkbar macht. Die entsprechenden Jupiterzonen, aus denen die oben mitgeteilte Umlaufszeit von 9 Stunden und 55½ Minuten abgeleitet wurde, liegen etwa zwischen 12 und 30 Grad nördlicher und südlicher Breite; die Teile des Äquatorgürtels schwingen schon in 9 Stunden 50½ Minuten einmal um die Achse des Planeten. Nach Dennings Messungen von 1899 an 27 Äquatorflecken liegt die Umdrehungszeit hier zwischen 9 Stunden 50 Minuten 18 und 35 Sekunden. Entsprechend unseren vorangeschickten irdisch-meteorologischen Betrachtungen kreisen aber die Polarregionen wieder schneller. Hier findet kein aufwärts gerichteter, sondern nur noch ein im wesentlichen nach den Polen hinfließender Luftstrom statt; letzterer aber bringt, namentlich in den höheren Breiten, wie wir vorhin sahen, ein Vorauseilen hervor.[1] Um wieviel sich die Umschwungsbewegung gegen die Pole hin wieder beschleunigt, nachdem sie in den gemäßigten Breiten sich vermindert hatte, läßt sich nur schwer ermitteln, da in sehr hohen Breiten Jupiters Flecke überaus selten auftreten, deren Bewegung man längere Zeit verfolgen könnte. Diese Abhängigkeit der Umschwungsbewegung von der jovigraphischen Breite beweist uns aber, daß wir eine feste Oberfläche des Planeten überhaupt nicht sehen, die natürlich vom Pol bis zum Äquator ganz gleiche Rotationsdauer zeigen müßte, wie wir sie beim Mars mit einer Genauigkeit von wenigen Hundertteilen einer Sekunde feststellen konnten. Bei Jupiter ist wegen der Veränderlichkeit der zu verfolgenden Objekte eine solche Genauigkeit nicht zu erreichen. Aus gleichen Gründen kennen wir die eigentliche Rotationszeit des sich etwa unter diesen Wolkenmassen befindlichen festen Jupiterkörpers überhaupt nicht. Wir können nur aus Analogieschlüssen mit der Erde annehmen, daß die Äquatorwolken dem eigentlichen Umschwung wirklich etwas nachfolgen, die Wolken der gemäßigten Zonen aber vorauseilen, so daß die wahre Rotationszeit Jupiters zwischen 9 Stunden 50 und 55 Minuten liegen würde.

Ganz vorzügliche Anhaltspunkte zur Bestimmung der Rotationszeit bieten aber gewisse kleine, glänzend weiße Punkte, die namentlich in der südlichen gemäßigten Zone häufig auftreten, während die nördliche auffallend ärmer an derartigen Details ist. Wir sehen ein System solcher Flecke gleichfalls in der erwähnten Zeichnung von Keeler. Sie sind merkwürdig symmetrisch geordnet: zwei ovalen hellen Flecken folgen in etwas höherer Breite zwei kleine runde. Diese Flecke und ihre Gruppierung erhielt sich fast unverändert während der ganzen Keelerschen Beobachtungsreihe, also mindestens von Anfang Juli

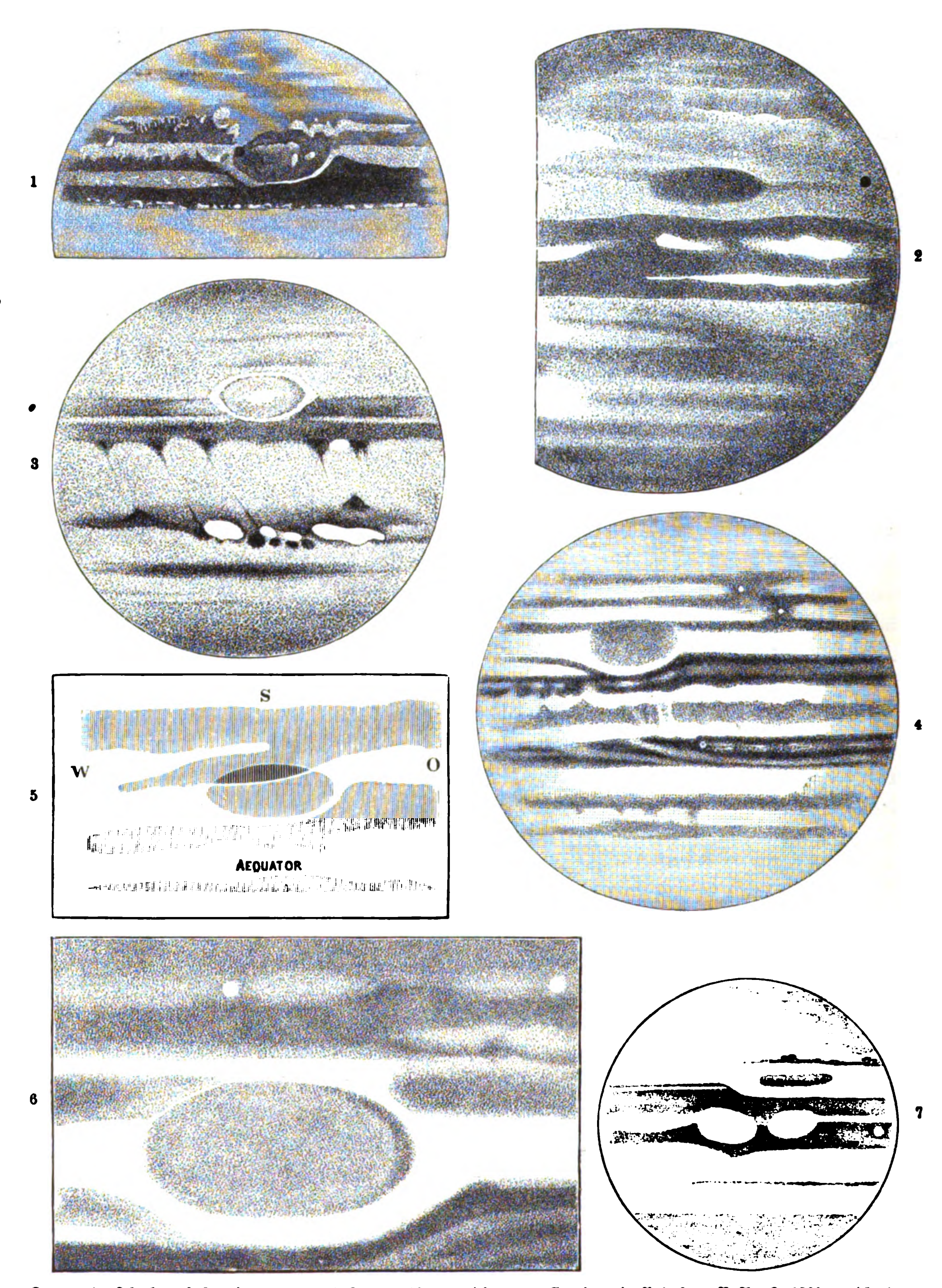
[1] Es bedarf wohl nur des Hinweises, daß die Bezeichnungen der Himmelsgegenden auf sämtlichen Abbildungen der Planetenscheiben für unseren irdischen Standpunkt gelten. Man darf deshalb daraus nicht ablesen wollen, die Rotation des Jupiter fände von Osten nach Westen statt, also in umgekehrter Richtung wie die der Erde. Wir sehen nämlich von den Planeten, die sich in Opposition befinden, gewissermassen nur die unteren Seiten: die jenseits befindliche, uns abgewandte Hälfte des Planeten, die also, von der Sonne gesehen, die gleiche Lage hat wie die Erdhälfte, auf der wir uns während der Beobachtung befinden, bewegt sich wie diese von Westen nach Osten, gleich allen Planeten, bei denen überhaupt Umschwungsbewegungen festgestellt wurden.



1889 bis in den September hinein. Wenn dies auch Wolken waren, wie ihr Aussehen und ihr trotz aller zeitweiligen Beständigkeit nur vorübergehendes Dasein wahrscheinlich machte, so müssen sie doch unter besonderen Umständen, die mit festen Oberflächenteilen im Zusammenhang stehen, entstanden sein. Dürfte man ohne weiteres irdische Verhältnisse auf Jupiter übertragen, so könnte man an Bergspitzen und Bergrücken denken, die um ihre Häupter längere Zeit hindurch Wolkenzüge sammelten und festhielten, vielleicht auch an Vulkane, die hier während größerer Zeiträume Dampfmassen ausschleuderten.

Besonders zeugt von mächtigen Vorgängen, die von untenher auf die Atmosphäre des Jupiter wirken, der erwähnte rote Fleck, der im Jahre 1872 zuerst von Corder und Terby gesehen worden zu sein scheint, in der ersten Zeit jedoch recht unscheinbar war, dann bis in den Anfang der 1880er Jahre an Deutlichkeit so zunahm, daß man ihn selbst in ganz unbedeutenden Fernrohren sehr bequem sehen konnte; darauf erblaßte er wieder langsam, ist aber bisher nicht gänzlich verschwunden. Wir geben mit verschiedenartigen Instrumenten aufgenommene Zeichnungen der Jupiteroberfläche mit dem Fleck aus den Jahren 1878, 1880, 1886, 1889, 1893 und 1895 wieder, außerdem eine größere Zeichnung des Fleckes allein, mit seiner nächsten Umgebung, wie ihn Keeler mit dem großen Lick-Refraktor am 5. September 1889 bei 630facher Vergrößerung sah. Nach Messungen mit demselben Fernrohre hatte der Fleck zu der angeführten Zeit eine Länge von 29,800 km, also soviel wie drei Viertel des ganzen Erdumfanges. Zu anderen Zeiten geben Beobachter seine offenbar veränderliche Länge sogar auf 43,000 km an. Ein charakteristischer Zug, der auf allen Zeichnungen des Fleckes wiederkehrt, ist das Ausbiegen des breiten Wolkengürtels in der südlichen gemäßigten Zone, in der das merkwürdige Phänomen auftritt. Es hat den Anschein, als ob die Wolkenmassen jenes Gürtels durch den Fleck eine Abstoßung erführen. Dieses Ausbiegen ist ausnahmslos nach dem Äquator hin zu bemerken. Nach Süden zu grenzt der Fleck an einen dunkeln Streifen, der von ihm nicht beeinflußt wird. Der hierüber nach Süden hin gewöhnlich vorhandene weiße Streifen wird auch zuweilen ausgebogen, wie es die große Keelersche Zeichnung verdeutlicht. Der erwähnte dunkle Streifen erscheint hier östlich und westlich von einer Wolkenbrücke durchbrochen, so daß der ganze Fleck weiß umrahmt ist. Die Wolken fliehen diesen roten Fleck. Nur ein- oder zweimal konnte beobachtet werden, daß ein wolkenartiger Schleier über den Fleck hinwegzog, so 1886 von Young (s. Abbildung, S. 162, Fig. 5). In letzterem Falle war nur der obere Teil in seiner alten roten Färbung geblieben, aber man sah auch hier wieder deutlich, wie das ganze weiße Band nach dem Äquator hingedrängt wurde.

Suchen wir nach einer Erklärung der vorliegenden Tatsachen, so finden wir keinen anderen Ausweg als den, großartige vulkanische Erscheinungen herbeizuziehen. Nur ein sehr kräftiger Luftauftrieb, der von der betreffenden Region der Jupiteroberfläche ausgeht, kann die durch einen gewaltigen Sturmwind in jenem Gürtel um den Planeten getriebenen Wolkenzüge verdrängen. Dieser Auftrieb wieder kann in so stetiger Weise nur durch eine dauernd höhere Temperatur des ganzen Gebietes erklärt werden, dessen strahlende Wärme gleichzeitig einen großen Teil des Dampfgehaltes der darüber hinziehenden Wolken auflöst. Da nun gewisse Betrachtungen, die wir noch kennen lernen werden, zu dem Schlusse berechtigen, daß Jupiter sich in einem verhältnismäßig jungen Alter befindet, wo der allgemeine Abkühlungsprozeß, den die Weltkörper durchzumachen haben, noch nicht bis zur Bildung einer ganz soliden Kruste vorgeschritten ist,



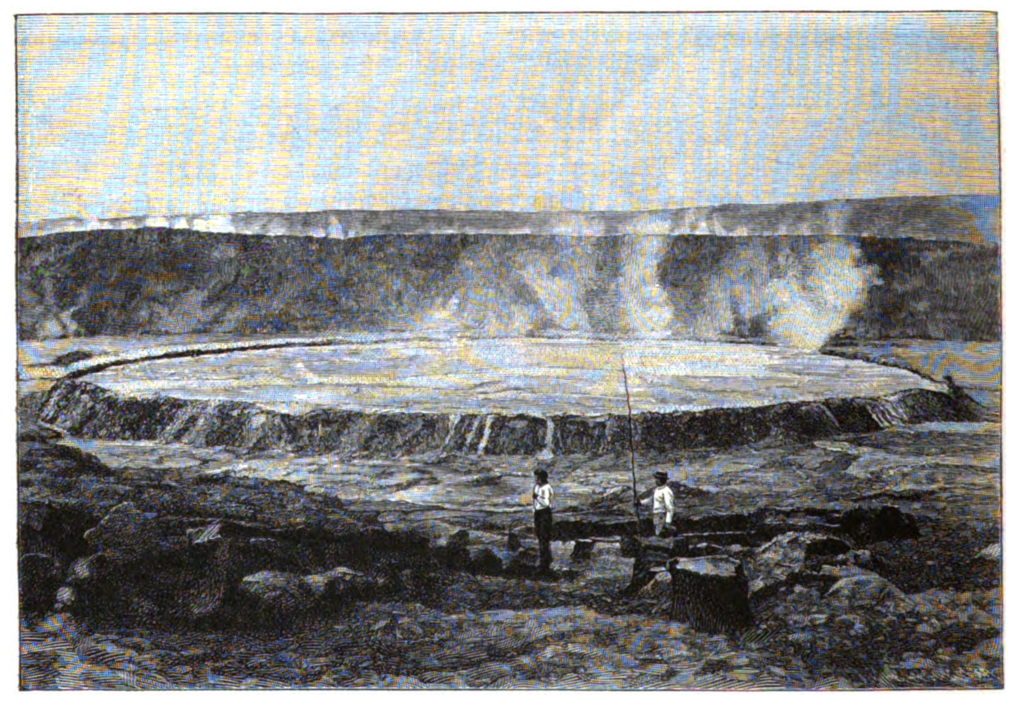
Der rote Fleck auf Jupiter: 1) am 9. Januar 1895 gezeichnet von Gordon in Paterson, N.-A., 2) 1880 gezeichnet von M. W. Meyer in Genf, 3) am 20. Oktober 1893 gezeichnet von Antoniadi auf der Sternwarte Flammarions in Juvisy bei Paris, 4) 1889 gezeichnet von Keeler auf der Lick-Sternwarte, 5) mit einem überliegenden Wolkenstreifen, 1886 gezeichnet von Young, 6) am 5. September 1889 gezeichnet von Keeler an dem großen Refraktor der Lick-Sternwarte bei 630facher Vergrößerung, 7) 1878 gezeichnet von Niesten in Brüssel. Vgl. Text, S. 161 u. 166.

so dürfen wir annehmen, es sei unter dem roten Flecke die Jupiteroberfläche von dem glühendflüssigen Inneren des Planeten durchbrochen worden und ein Lavasee von einer Größe entstanden, daß zwei Erdkugeln daraufgelegt werden könnten, und dieser feuerflüssige See habe sich infolge der schnellen Rotation des Planeten in der Richtung des Parallelkreises, der durch seine Mitte geht, ausgedehnt und dadurch eine elliptische Gestalt gewonnen. Auf unserer Erde besitzen wir, wenn unsere Annahme richtig ist, ein allerdings winzig kleines Seitenstück zu dem roten Jupiterfleck in dem Feuersee auf Hawaii (s. die Abbildung, S. 164). Dort befindet sich in der Nähe des größten tätigen Vulkanes der Gegenwart, des Mauna Loa, ein anderer, kleinerer Vulkan, der Kilauea, dessen Öffnung ein See beständig feuerflüssiger Lava ist, von etwa einem halben Kilometer Durchmesser. Die Lava steigt und fällt in diesem von einem niedrigen Uferrand umgebenen Becken und überflutet ihn gelegentlich. Durch solche Überflutungen sind die ungemein flachen Böschungen des Vulkanes, die einen Neigungswinkel von kaum 5—6 Grad haben, entstanden. Man kann jenen Vulkan also kaum als einen Berg bezeichnen. Wir brauchen uns daher auf Jupiter nicht etwa einen Feuerberg von riesigen Dimensionen vorzustellen, indem wir den Vorgang mit vulkanischen Verhältnissen der Erde in Vergleich ziehen. Auch über dem Feuersee auf Hawaii sehen wir eigentümliche Wandlungen in den Wolken vor sich gehen, die mit denen über dem roten Fleck des Jupiter wohl einige Ähnlichkeit haben.

Ist diese Erklärung richtig, so verstehen wir auch die eigentümliche Wahrnehmung, daß der rote Fleck eine andere und zwar veränderliche Rotationszeit besitzt als die ihn umgebende Oberfläche des Planeten. Er verändert also auf der Oberfläche langsam seinen Ort. Nach Denning, der diese Erscheinung seit längeren Jahren am eingehendsten verfolgt, nahm die Bewegung des Fleckes zwischen 1877 und 1900 beständig ab, zeigt aber seitdem eine Beschleunigung. 1894 war die Rotationszeit 9 Stunden 55 Minuten 41 Sekunden, 1900 eine halbe Sekunde größer, aber 1904 war die Sekundenzahl nur noch 39,8. Diese Abweichungen scheinen gering, aber man überlege, daß es sich hier um etwas Gleiches wie das Vorgehen oder Zurückbleiben einer Uhr handelt, was sich summiert. Es folgt daraus, daß der Fleck auf der Oberfläche des Planeten zwischen 1894 und 1901 um 46 jovizentrische Längengrade gegen seine Umgebung zurückgewichen und dann bis 1904 wieder um 14 Grade vorausgeeilt ist. Man kann sich dies durch Veränderungen der wahren Gestalt des Fleckes auf der Jupiteroberfläche erklären, indem zeitweilig auf der einen Seite die feste dunkle Kruste durch Erkaltung zunimmt, auf der anderen aber das feuerflüssige Magma die Kruste von neuem überflutet. Nach Hough ändert der Fleck auch seine jovizentrische Breite, das heißt, er rückt einmal etwas näher zum Pol und dann wieder zum Äquator hin. Der Genannte schätzt diese Änderung auf etwa 6500 km. Diese Breitenänderung würde die der Rotationszeit teilweise erklären, weil wir ja auch diese ganz allgemein sich mit der Breite ändern sehen. Nach Hough können aber auch gelegentlich in demselben Breitengrade Rotationen vorkommen, die zwischen 9 Stunden 50 Minuten und 55 Minuten verschieden sind. Er ist der Ansicht, daß die Atmosphäre des Jupiter eine nach der Tiefe zu verschiedene Rotationsdauer besitzt und die Unterschiede dadurch entstehen, daß man die betreffenden umlaufenden Objekte in verschiedenen Tiefen sieht. Am dunkeln Äquatorgürtel sehen wir z. B. meist nur die tieferen Atmosphärenschichten, die schneller rotieren, in den helleren, langsamer umschwingenden Streifen die höheren Wolkenschichten.



Ist die Oberfläche Jupiters in der Tat noch in dem urzeitlichen Zustande, den wir voraussetzen mußten, um die Erscheinung des roten Fleckes genügend erklären zu können, so finden wir zugleich die dichte und hohe Atmosphäre und ihre stürmischen Bewegungen erklärlich. Als ein augenscheinlicher Beweis der bedeutenden Höhe der Lufthülle um Jupiter muß die beträchtliche Lichtabnahme seiner scheinbaren Scheibe nach ihren Rändern hin gelten, die bei keinem anderen Planeten so auffallend ist. Gelegentlich zeigen auch die Jupitertrabanten, wenn sie hinter dem Planeten vorüberziehen, Erscheinungen, die nur beim Vorhandensein einer ausgedehnten Atmosphäre zu verstehen sind.

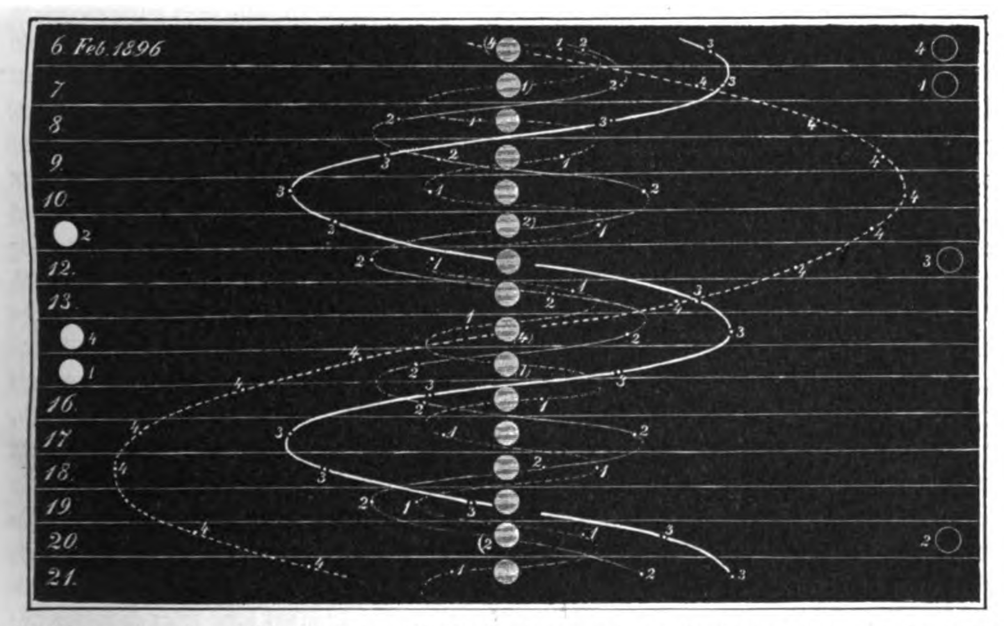


Der Vulkan Kilauea mit dem Feuersee, auf der Insel Hawaii. Nach einer Photographie. Vgl. Text, S. 163.

Der gewaltige Körper, der mit der Sonne viele verwandtschaftliche Züge gemeinsam hat, gleicht ihr auch insofern, als er eine Schar von zum Teil nicht unbedeutenden Weltkörpern um sich gruppiert hat, die um ihn kreisen, wie die Planeten um ihr strahlendes Zentralgestirn. Jupiter wird von sieben Monden umkreist, von denen drei erst seit kürzerer Zeit bekannt sind, während die übrigen vier die ersten selbständigen Himmelskörper waren, die mit Hilfe des neuerfundenen Fernrohrs entdeckt wurden, als es Galilei im Jahre 1610 zuerst auf den Jupiter richtete. Heute zeigt sie jedes Opernglas, und besonders scharfe und geübte Augen wollen sie sogar unbewaffnet gesehen haben. Diese vier zuerst entdeckten Jupitertrabanten haben merkwürdigerweise keinen der ihnen zugedachten Namen festhalten können (Galilei hatte sie zu Ehren seines Mäcen die mediceischen Gestirne taufen wollen), so daß sie gegenwärtig nur nach der Reihenfolge ihres Abstandes vom Hauptplaneten mit den römischen Zahlen I, II, III, IV bezeichnet werden. Dadurch wurde freilich nach Entdeckung des fünften Mondes, der sich noch näher beim

Jupiter befindet als I, eine Ungereimtheit unvermeidlich, da eine heillose Verwirrung entstanden wäre, wenn man die Ziffern der alten Monde geändert hätte. So blieb es besser bei der inkonsequenten Bezeichnung des neu hinzugekommenen als V. Jupitermondes. Die beiden anderen sind als 6. und 7. Mond mit VI und VII nach ihrer Stellung wieder richtig bezeichnet.

Es ist ein höchst reizvoller Anblick, das Spiel der vier großen Satelliten zu verfolgen, die bald rechts, bald links vom Riesenplaneten sich in wechselvollem Reigen immer wieder anders gruppieren, aber meist ungefähr in einer durch den Äquator des Planeten gehenden Linie stehen. Fast täglich bietet dieses kleinere Weltsystem interessante Erscheinungen dar, die aus dem Spiele der kreisenden Monde hervorgehen. Dort schiebt sich einer der Monde, dessen scheibenförmige Gestalt in besseren Fernrohren leicht wahrgenommen werden



Stellungen der vier großen Jupitermonde für die Zeit vom 6. zum 21. Februar 1896. Vgl. Text, S. 166.

kann, langsam hinter den Planeten. Man nennt dieses Unsichtbarwerden eines Mondes durch Verschwinden hinter dem Planeten seine Okkultation. Einige Minuten oder Bruchteile von Minuten lang, je nachdem man einen der schnelleren oder einen der entfernteren, langsamer bewegten Monde vor sich hat, ist noch ein Stück der Satellitenscheibe als Hervorragung am Planetenrande sichtbar. Auf der anderen Seite kriecht ein Mond gerade hinter der großen Scheibe hervor. Nachdem der Satellit einige Zeit als strahlendes Scheibchen neben dem Jupiter gestanden und sich langsam weiter von ihm entfernt hat, kommt es vor, daß sein Glanz innerhalb weniger Sekunden verlischt, so daß der Mond mehrere Stunden lang gänzlich unsichtbar wird. Erst dann erscheint er, merklich weiter vom Planeten entfernt, ebenso schnell wieder. Er war während dieser Zeit in den Schatten Jupiters getaucht, es fand eine Mondfinsternis dort statt. Bei uns ist das ein seltenes Ereignis, das im Jahr ein- oder zweimal in unserem Kalender verzeichnet wird, auf Jupiter aber ein alltäglicher Vorgang.

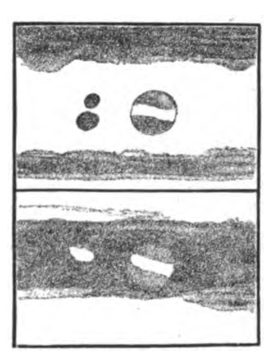
Natürlich kann, je nach der Lage des Jupitersystems zu uns und der Sonne, die Reihenfolge der hier geschilderten Erscheinungen sich völlig umkehren und überhaupt die mannigfaltigsten Variationen bieten. Ebenso häufig wie die Mondfinsternisse sind auf Jupiter auch die Verfinsterungen der Sonne, wobei man oft einen oder selbst mehrere schwarze runde Flecke über die Jupiterscheibe ziehen sieht, die sich als die Schatten von Satelliten herausstellen. Auf unserer Zeichnung des Jupiter von 1880 (s. Abbildung, S. 162, Fig. 2) ist rechts am Rande ein solcher Satellitenschatten zu sehen. Endlich finden ebenso häufig Vorübergänge dieser umkreisenden Trabanten vor dem Jupiter statt.

In der Abbildung auf S. 165 sind die Örter der vier Satelliten in bezug auf ihren Hauptkörper für die Zeit vom 6. bis zum 21. Februar 1896 für 11 Uhr mitteleuropäischer Zeit angegeben. Ist an einem dieser Tage der Ort eines Satelliten nicht aufgeführt, so befindet sich der Mond um diese Zeit entweder hinter dem Planeten, beziehungsweise in seinem Schatten, in welchem Falle bei dem betreffenden Tagesstreifen rechts eine dunkle Scheibe markiert ist, oder vor dem Planeten; es ist dann links eine helle Scheibe gezeichnet worden. Die Orte jedes Mondes sind an den aufeinander folgenden Tagen durch eine Kurve verbunden, wodurch man in den Stand gesetzt ist, seinen Weg um den Planeten zu verfolgen. Bei der Kurve für den dritten und vierten Satelliten fällt es an einigen Stellen, beispielsweise für den 12. und den 19. Februar, auf, daß sie zur rechten Seite des Jupiter erst in einiger Entfernung von ihm beginnt. Es ist hierdurch die Wirkung des Planetenschattens angedeutet, die den Mond dort erst erscheinen oder schon verschwinden läßt, wo die Kurve wieder beginnt oder aufhört. Die Lage dieses Punktes zum Jupiter sieht man schon innerhalb der kurzen Zeitspanne sich verändern, für welche die Satellitenörter hier verzeichnet sind, eine Folge der wechselnden Stellung Jupiters zur Sonne und zur Erde. Für den ersten und den zweiten Satelliten ist die Entfernung des Austritts-, bezw. Eintrittspunktes viel geringer, da diese Monde sich in Wirklichkeit viel weniger von ihrem Hauptplaneten entfernen.

Der erste Satellit kann sich vom Mittelpunkte seines Planeten nur etwa sechs Halbmesser desselben entfernen. Obgleich diese Entfernung verhältnismäßig gering erscheint, ist sie doch in Wirklichkeit schon etwas größer als der Abstand unseres Mondes vom Erdmittelpunkte. Letzterer beträgt im Mittel 385,000, ersterer 420,000 km. Der Satellit bewegt sich bereits in 1 Tag 18½ Stunden einmal um seinen Hauptkörper. Der Durchmesser des Satelliten erscheint uns unter einem Winkel von fast genau einer Bogensekunde (nach Barnard 1,05"), woraus sich seine wahre Ausdehnung etwas größer als die unseres Mondes, etwa 3950 km für den Durchmesser, ergibt.

Bei Gelegenheit eines Vorüberganges vor der Jupiterscheibe am 8. September 1890 hatte sich dieser Satellit, als er vor dem weißen Äquatorgürtel hinzog, in zwei völlig geschiedene Teile getrennt; es waren zwei Satelliten geworden (s. die Abbildung, S. 167). Nachdem aber der Körper wieder aus der Scheibe auf den dunkeln Himmelsgrund getreten war, hatte auch er seine gewöhnliche Gestalt wieder angenommen. Das Phänomen wurde so deutlich von mehreren Astronomen der Lick-Sternwarte gesehen, daß man wirklich eine Zeitlang an die Möglichkeit glaubte, der Satellit bestände aus zwei ganz nahe beieinander befindlichen und einander schnell umkreisenden Körpern, die sonst immer einander für unseren irdischen Standpunkt gedeckt haben. Um aber die wahre Erklärung zu verstehen, müssen wir einen normalen Vorübergang eines solchen Mondes vor

der Planetenscheibe näher verfolgen. Wir sehen nach dem Eintritt den Satelliten sich als kleines, helles Scheibchen von den Randpartien des Planeten abheben, die infolge der Atmosphäre, wie schon erwähnt, beträchtlich dunkler erscheinen als die übrige Oberfläche. Je mehr aber der Satellit nach der Mitte vorschreitet, desto schwieriger wird es, ihn von seiner hellen Umgebung auf der Jupiterscheibe noch zu unterscheiden. Schließlich verliert er sich gewöhnlich ganz in den mittleren Partien der weißen Äquatorzone, um erst einige Zeit vor dem Austritt am anderen Rande wieder aufzutauchen. Dies Verschwinden vor der Jupiterscheibe ist eine natürliche Erscheinung, wenn man annehmen darf, daß der Satellit mit einer ähnlich das Licht reflektierenden Wolkenhülle umgeben ist wie sein Hauptplanet. Spektroskopische Untersuchungen von Vogel, die allerdings vereinzelt dastehen und wegen ihrer Schwierigkeit nicht einwandsfrei sind, scheinen dies zu bestätigen. Nach diesem kommt die der Atmosphäre Jupiters eigentümliche Linie bei 618 $\mu\mu$ auch im Spektrum der Jupitermonde vor. Da dann vom Jupiter sowohl wie von seinem Monde Licht von dergleichen Art und Intensität zu uns gelangt, haben wir kein Mittel, die beiden Körper in unserem Auge zu trennen. Daß der erste Satellit von einer Atmosphäre umgeben ist, scheint eine wiederholt vom Verfasser am Zehnzöller der Genfer Sternwarte gemachte Wahrnehmung zu bestätigen. Wenn man den Satelliten bei seinem Vorübergange vor der Jupiterscheibe aufmerksam verfolgte, bis er in der weißen Äquatorialzone verschwand, konnte man den Rand des Mondes doch als kleine, dunkle Kreislinie erkennen. Diese würde auf eine ähnliche Absorption der Satellitenatmosphäre hindeuten, wie man sie am Rande der Planetenscheibe beobachtet.



Eigentümliche Erscheinungen am ersten Satelliten des Jupiter, beobachtet am 8. Sept. 1890 und am 3. August 1891 auf der Lick-Sternwarte. Vgl. Text, S. 166 u. 168.

Es ereignen sich aber auch sogenannte *dunkle Vorübergänge* der Trabanten, die namentlich in letzter Zeit die Aufmerksamkeit der Astronomen auf sich gelenkt haben. Unverhofft und ohne alle äußeren Voranzeichen tritt der Satellit als dunkle Scheibe in den Planeten ein und setzt so seinen Weg vor ihm hin fort, erscheint dagegen nach seinem Austritte wieder in seinem ungeschwächten Glanze. Da kein Grund zu ersinnen ist, weshalb der Satellit eine wirkliche Veränderung seiner Leuchtkraft gerade in der Zeit, während der er in der geraden Linie zwischen Jupiter und Erde steht, erfahren könnte, so dürfen wir nur an *Kontrastwirkungen* denken, für die das Auge viel empfindlicher ist als für absolute Lichtschätzungen, wie ja überhaupt unsere Sinne nur für Messungen relativer Verschiedenheiten eingerichtet sind. Ist die Jupiterscheibe an den Stellen, vor denen der Satellit hinzieht, ausnahmsweise hell, die Atmosphäre des letzteren aber besonders wolkenfrei, so kann er uns wohl dunkel erscheinen, wie man z. B. die Sonnenflecke dunkel sieht, obgleich ihr Licht notorisch mehrere tausendmal heller ist als das des Vollmondes. Diese dunkeln Vorübergänge würden auch die Vermutung stärken, daß Jupiter noch geringe Mengen *eigenen*, also nicht wie bei allen anderen Planeten lediglich von der Sonne kommenden reflektierten *Lichtes* besitze, das allerdings durch unsere physikalischen Analysen nicht mehr nachzuweisen ist. Die etwa von einer teilweise glühenden Kruste herrührenden Lichtentwickelungen würden an einzelnen Stellen stärker auftreten als an anderen. Geht nun ein Satellit über diese weg, so wäre die

Ursache zu einer Verdunkelung desselben als Kontrastwirkung gegeben. Daß allerdings die Ursache zum Teil in den Satelliten selbst zu suchen ist, zeigt die Wahrnehmung, daß dunkle Vorübergänge bei den ersten Monden sehr selten oder gar nicht vorkommen. Diese scheinen also häufiger von Wolkenschleiern umhüllt zu sein als die entfernteren Glieder des sekundären Systems. Dies würde sich gleichfalls leicht unter der Voraussetzung erklären, daß wir es in Jupiter noch mit einem unfertigen Weltkörper zu tun haben, der wegen der dünnen Kruste etwas eigenes Licht und eigene Wärme ausstrahlt. Letztere könnte auf den nächsten Satelliten noch fast ebenso wolkenbildend wirken wie in der Jupiteratmosphäre selbst.

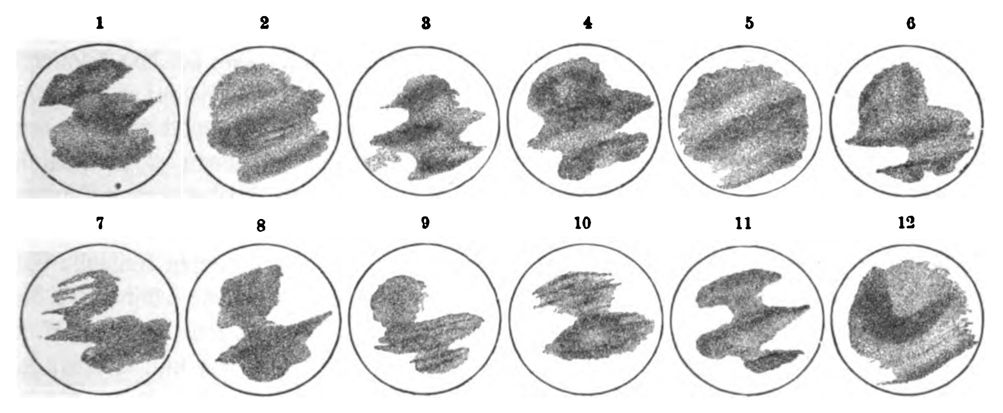
Um die zuerst so rätselhaft erscheinende Verdoppelung des nächsten Satelliten weiter zu erklären, haben wir nur anzunehmen, daß sich in jener Zeit seine Atmosphäre bis auf einen etwa äquatorial verlaufenden Wolkengürtel in außergewöhnlich heiterem Zustande befand. Die nördlichen und südlichen Teile des kleinen Weltkörpers waren deshalb relativ dunkel, während der Äquatorstreifen des Mondes die gleiche Helligkeit hatte wie der des Planeten, über den er hinzog. Auf dem oberen rechten Teile der auf S. 167 stehenden Zeichnung ist dies veranschaulicht. Wenn man nun den Augenfehler der Überstrahlung berücksichtigt, der alle hellen Partien über die dunkleren greifen läßt, so erklärt sich auch die Abrundung der in Wirklichkeit rechts und links spitz zulaufenden Polarkappen, die wegen der Kleinheit des Bildes auf keinen Fall etwa in der in unserer Abbildung wiedergegebenen Form hätten gesehen werden können. War diese Erklärung richtig, so mußte man gelegentlich auch die umgekehrte Wahrnehmung machen können, wenn der Satellit einmal über eine dunkle Region des Planeten hinzog. Dann mußten seine Polkappen verschwinden und nur der längliche Äquatorgürtel für unser Auge übrigbleiben. Solches fand wirklich am 3. August 1891 statt, wie der untere Teil der Zeichnung veranschaulicht. Die Vermutung des hellen Äquatorstreifens konnte Barnard am 25. September 1893 am 36-Zöller direkt bestätigen, wo zuerst dieselbe Erscheinung eines Doppelmondes auftrat, wie er sie früher am 12-Zöller gesehen hatte, während dann bald der ganze Mond mit dem Streifen und den dunkeln Flecken an den Polen unzweifelhaft zu erkennen war. Dieser Satellit ahmt also in seinem Aussehen seinen Hauptplaneten nach.

Ob diese dunkeln Flecke auf der Satellitenscheibe uns bei einem Vorübergange stets zugewandt sind, wodurch bewiesen wäre, daß der Mond seinem Planeten stets dieselbe Seite zukehrt, wie es bei unserem Monde der Fall ist, hat neuerdings von Guthnick auf der Privatsternwarte des Herrn v. Bülow zu Bothkamp bei Kiel durch genaue photometrische Messungen nachgewiesen werden können, ebenso für den II. Mond. Ersterer schwankt zwischen 5,5. und 6,4. Größe, letzterer von 5,7. zu 6,1. Größe, also sehr merklich, und die Periode des Lichtwechsels stimmt mit den Umlaufszeiten der Satelliten überein, der vierte aber leuchtet regelmäßig am schwächsten, wenn er in seinem Umlauf uns näher steht als Jupiter, wird dagegen heller in dem Teile der Bahn, die hinter dem Planeten liegt. Wendet der Mond seinem Planeten beständig dieselbe Seite zu, so sehen wir diese, solange der Mond sich in dem von uns entfernteren Teile seiner Bahn befindet; auf die dem Hauptplaneten abgewandte Seite blicken wir dagegen, wenn der Mond zwischen uns und ihm vorüberzieht. Die nämliche Erscheinung würde offenbar für etwaige Bewohner der Venus unser Mond hervorbringen, falls auf seiner uns abgewandten Seite die dunkeln Mare-Ebenen eine größere Gesamtausdehnung haben als auf der uns bekannten. Übrigens erweist sich nach Müller die Reflexionsfähigkeit der Jupitermonde als sehr gering, was

gegen das Vorhandensein von mit Wolken erfüllten Atmosphären spricht. Namentlich ist der vierte Mond verhältnismäßig sehr dunkel und gleicht in dieser Hinsicht unserem Monde.

Von dem zweiten Satelliten ist nichts Besonderes weiter zu sagen. Er bewegt sich in einer Entfernung von etwa 9½ Halbmessern des Hauptplaneten oder 670,000 km um ihn und ist etwas kleiner als der erste, beinahe so groß wie unser Mond, nach Barnard mit einem Durchmesser von 3300 km. Schon in 3½ Tagen vollendet er einen Umlauf.

Der dritte Jupitermond ist der größte von allen, sogar noch erheblich größer als der sonnennächste Planet Merkur; er mißt im Durchmesser etwa 5720 km. Von seinem Hauptplaneten kann er sich um das Fünfzehnfache von dessen Halbmesser oder 1,067,000 km entfernen. Obgleich also der Weg, den er um seinen Planeten zurückzulegen hat, fast dreimal größer ist als der von unserem Monde um die Erde beschriebene, legt er ihn doch viermal schneller



Zeichnungen des dritten Jupitermondes, auf der Lick-Sternwarte hergestellt von Schaeberle und Campbell im September und Oktober 1891.

zurück als dieser, nämlich in 7 Tagen 3¾ Stunden. Wegen seiner relativen Größe lassen sich auf diesem Satelliten noch am ehesten Details erkennen. Wir geben oben einige Zeichnungen wieder, die Schaeberle auf der Lick-Sternwarte von den Flecken dieses Mondes entworfen hat. Ihr Studium läßt vermuten, daß er dem Jupiter stets die nämliche Seite zukehrt.

Der vierte Mond bewegt sich in einem Abstand von 26½ Halbmessern des Planeten oder 1,877,000 km in 16 Tagen 16½ Stunden um den letzteren. Dieser Mond ist zwar wieder etwas kleiner als der dritte, aber größer als die beiden ersten, nämlich 5380 km im Durchmesser (Barnard); er ist hiernach gleichfalls größer als Merkur. Wir haben hier also vier Körper, die an Größe einem der Hauptplaneten nahestehen und von dem mächtigen Jupiter gezwungen werden, in eiligem Fluge ihn zu umkreisen. Jetzt schon mögen wir daraus ersehen, wie Jupiter auch an der die Weltkörper in feste Bahnen lenkenden Kraft mit der Sonne, der er zwar mit seinen leuchtenden Vasallen dient, zu wetteifern vermag.

Der fünfte Trabant gehört dagegen wieder zu den kleinsten und optisch schwierigsten Körpern des Sonnensystems. Wie die beiden Marsmonde seinerzeit nur von dem damals kräftigsten Fernrohre zuerst gesehen werden konnten, so ist dieser Mond erst von dem bis vor kurzem mächtigsten Sehwerkzeuge der Neuzeit, dem Lick-Fernrohre, ans Licht gezogen worden. Barnard war so glücklich, am 9. September 1892 ein feines Sternchen 13. Größe dicht neben Jupiter zu sehen, das in schnellem Wechsel bald rechts, bald links von der hell

leuchtenden Scheibe des Planeten auftrat, sich aber kaum mehr als drei Vierteile des Jupiterdurchmessers vom Rande des Planeten entfernte. Die dadurch bedingte Überstrahlung machte seine Beobachtung äußerst schwierig, so daß nur wenige Astronomen außer dem Entdecker das winzige Lichtpünktchen messend verfolgen konnten oder mit großen Fernrohren es auch nur vorübergehend einmal aufblitzen sahen. Nach jenen Messungen ist die mittlere Entfernung des kleinen Trabanten vom Jupiterzentrum gleich etwa 1⅓ Durchmesser des Planeten oder 180,000 km. Seinen Umlauf vollendet er schon in 11 Stunden 57 Minuten 22,8 Sekunden. Er braucht also nur etwa zwei Stunden mehr, um den Mittelpunkt seines sekundären Systems zu umkreisen, als die Wolkenzüge der Jupiteroberfläche selbst. Aus der Helligkeit des Satelliten ist, wie bei den Marsmonden und den kleinen Planeten, auf einen Durchmesser von etwa 160 km zu schließen.

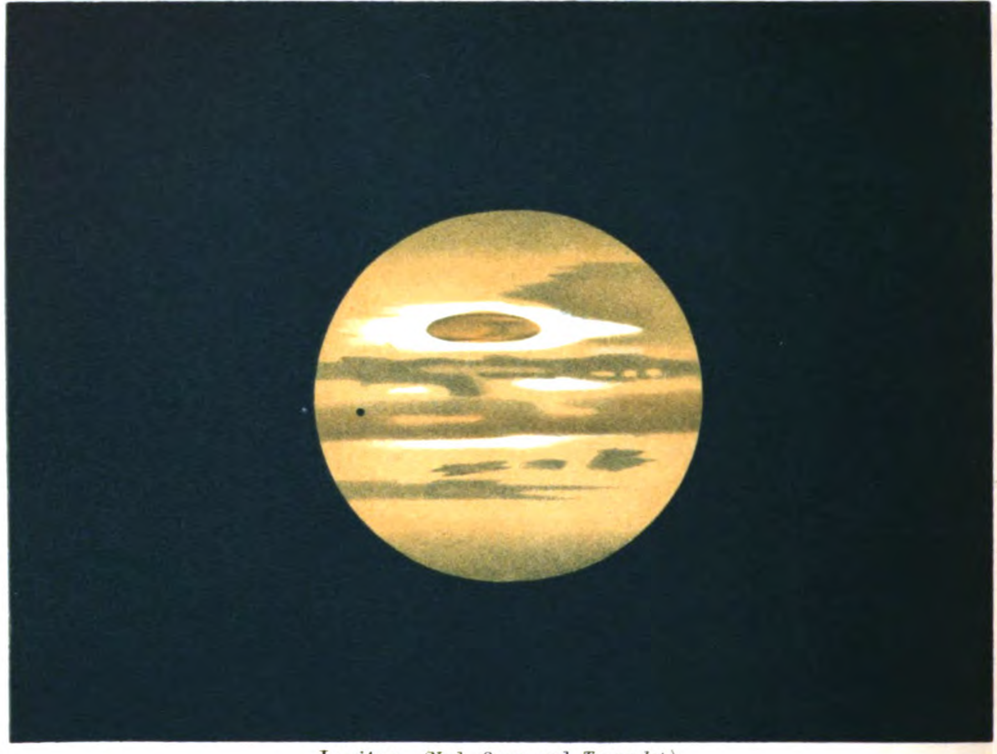
Die Entdeckung noch eines VI. und VII. Jupitermondes ist ein Erfolg der Himmelsphotographie, und zwar der zielbewußten Anwendung einer neuen Methode, durch die zuerst Pickering einen neunten Saturnsatelliten aufgefunden hat. Daß bei den Planeten keine Monde mehr zu erwarten seien, die groß genug wären, um durch die auf Seite 147/8 beschriebene Methode der Aufsuchung kleiner Planeten gefunden zu werden, war vorauszusehen. Ein auf der Platte wanderndes Sternchen hat, wenn es zu klein ist, nicht Zeit genug, ein Korn der Platte zu schwärzen, wie es kleine Fixsterne nach stundenlanger Belichtung vermögen. Die Monde aber bewegen sich unter den Sternen fort. Nun konnte man aber annehmen, daß in großer Entfernung von ihren Planeten kreisende Satelliten wenigstens zu bestimmten Zeiten die gleiche Bewegung wie diese selbst unter den Sternen besitzen. Man führte also das Fernrohr durch das Uhrwerk und durch die Kontrolle mit dem Sucherfernrohr (s. S. 43) dem Planeten nach und fand nun wirklich auf einer Reihe von Platten ein winziges Sternchen eingezeichnet, das während der Belichtungszeit dem Planeten gefolgt war und hierdurch seine Zugehörigkeit zu ihm verriet.

Die erste Aufnahme des VI. Mondes glückte auf diese Weise Perrine mit dem photographischen Crossley-Refraktor am 3. Dezember 1904. Derselbe Mond konnte später mit den Riesenfernrohren unserer Zeit auch direkt als winziges Lichtpünktchen 14. Größe gesehen werden. Danach würde sein Durchmesser sich etwa auf 120 km belaufen und wäre nicht wesentlich kleiner als der des V. Mondes. Er bewegt sich in einem so großen Abstande vom Jupiter (9,700,000 km), daß dadurch das System dieses Planeten in unserer Kenntnis um das Fünffache vergrößert ist. Seine Umlaufszeit beträgt nach Crommelin 253,4 Tage, also etwa 8½ Monate gegen 16⅔ Tagen beim bisher äußersten IV. Jupitermond. Eine weite Lücke klafft zwischen beiden, die wohl noch durch neue Entdeckungen kleiner Trabanten ausgefüllt werden wird.

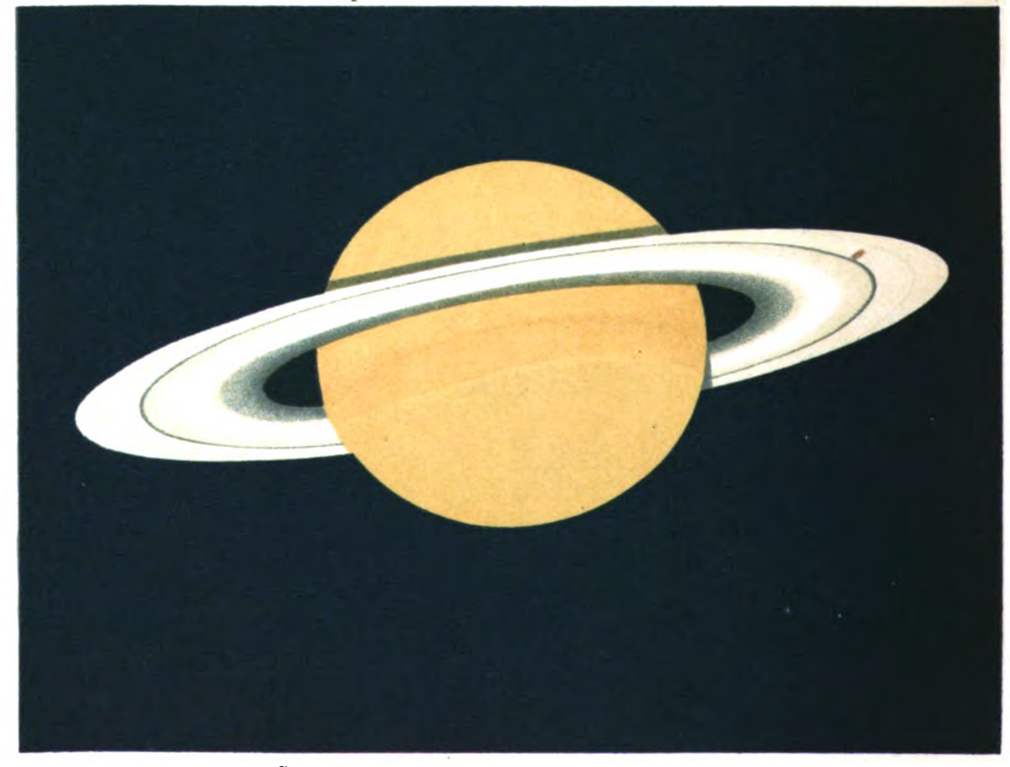
Auf verschiedenen Platten, die diesen Satelliten verzeichnet hatten, bemerkte nun Perrine noch ein sehr kleines Pünktchen, dessen Bewegung es als einen weiteren, VII. Jupitermond erkennen ließ, der in nahezu derselben Entfernung wie der VI. umläuft. Er wurde zuerst am 2. Januar 1905 photographiert. Sein Abstand vom Zentrum des Jupitersystems beträgt nach Roß 11,750,000 km, seine Umlaufszeit 259,7 Tage. Er ist nur 16. Größe, und sein Durchmesser mag kaum mehr als 50 km betragen. Beide neue Satelliten bewegen sich von Westen nach Osten um ihren Planeten wie dessen übrige Monde.

Wegen dieses geradezu unwahrscheinlichen Abstandes der beiden kleinen Körper vom Jupiter hat man eine Zeitlang ernstlich gezweifelt, daß sie ihm als Satelliten wirklich

JUPITER UND SATURN.



Jupiter. (Nach *Green* und *Trouvelot.*)



Saturn. (Nach *Barnard*, *Trouvelot* und *Mascari.*)

angehörten und nicht vielmehr kleine Planeten seien, die sich nur zeitweilig in der Nähe des Jupiter aufhielten. Es wurde durch Beispiele an bekannten Asteroiden gezeigt, wie dies wohl möglich sei. Die genauere Bahnberechnung hat nun zwar diese Zweifel beseitigt, aber es ist dafür die Frage aufgetaucht, ob diese kleinen Himmelswesen nicht früher einmal wirkliche Planetoiden gewesen und dann ähnlich, wie wir es vom Eros (S. 153) vermuteten, durch besondere Umstände in die Nähe des mächtigen Jupiter geschleudert wurden, dessen Anziehungskraft im Verein mit der seiner großen Monde diese kleinen Körper in ihre vielleicht nur vorübergehend angenommene Satellitenbahn gezwungen hätte. Wir kommen im theoretischen Teil auf diese Fragen zurück. Jedenfalls haben diese und namentlich die beiden neuen Saturnmonde neue interessante Gesichtspunkte über den Aufbau unseres Planetensystems entstehen lassen.

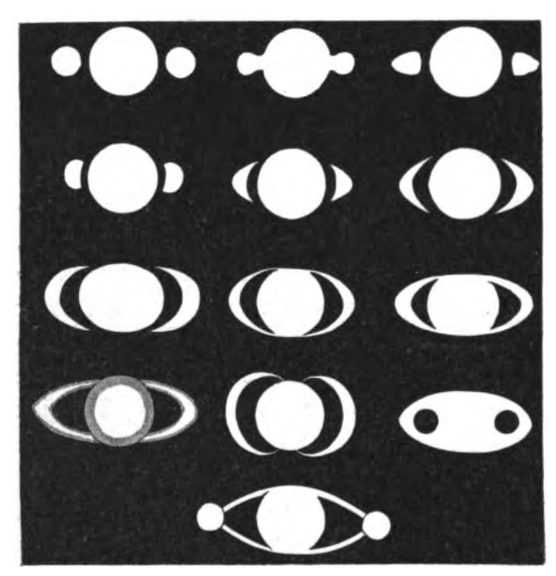
---

7. Saturn.

Kein anderer Himmelskörper macht beim teleskopischen Anblick einen so überraschenden Eindruck wie Saturn mit seinem geheimnisvollen Ringsystem. Ein breiter, glänzender Ring umgibt die leuchtende Kugel, wie auf der Drehbank scharf und glatt gezogen. Und nicht etwa, wie die meisten Himmelswunder, an der Grenze der Sichtbarkeit im Raume schwebend sehen wir dieses Gebilde, so daß man mehr vermuten muß als bewundern, sondern es steht mit handgreiflicher Deutlichkeit vor uns, ebenso unerklärlich wie zweifellos (s. die beigeheftete farbige Tafel). Schon in seinem ersten Fernrohre sah Galilei die Wundergestalt des Saturn, wenn er auch nicht sofort den Ring als solchen erkannte. Zuerst glaubte er zwei Satelliten zu erkennen, die sich so nahe an der Saturnkugel befanden, daß sie beinahe an ihm klebten. Es mußte allerdings merkwürdig erscheinen, daß sie nicht um den Planeten liefen, sondern ihre Stellung stets unverändert beibehielten. Freilich vermißte nach einigen Jahren der große Forscher diese vermeintlichen Satelliten gänzlich; Saturn erschien lange Zeit hindurch, wie die anderen Planeten, als Kugel. Galilei meinte schließlich, sich überhaupt geirrt zu haben, und teilte von der ganzen Beobachtung öffentlich zunächst nichts mit. Nach einiger Zeit aber trat die seltsame Erscheinung, die Anhängsel oder Ansen, wieder zu beiden Seiten der Planetenkugel auf. Jetzt sahen Galileis Nachfolger die wahre Gestalt schon deutlicher; das Ganze erschien nunmehr in der Form einer Linse, aber mit zwei großen Löchern zu beiden Seiten. Der Anblick wurde immer rätselhafter, bis endlich später der Ring als solcher von Huygens erkannt wurde. Die Zeichnungen auf Seite 172 veranschaulichen, wie sich das Bild des Saturn allmählich bei den älteren Beobachtern vervollkommt hat.

Heute zeigt jedes mittelmäßige Fernrohr nicht nur den Ring mit der darin frei schwebenden Kugel, sondern den ersteren noch deutlich von einer dunkeln Linie durchzogen, die ihn in zwei konzentrisch liegende Ringe trennt. Diese Linie nennt man nach ihrem Entdecker die Cassinische Trennung oder Teilung. In den modernen Teleskopen sieht man noch eine Menge von Einzelheiten, die sich fast alle durch ihre Lage und Art in Zusammenhang erweisen. Diese augenfällige Harmonie im Aufbau eines weitverzweigten, ja des reichsten aller sekundären Systeme im Reiche der Sonne erweckt auch in einem ganz unvorbereiteten Beschauer erhebende Gedanken über die Einheit und Größe

des Naturgeschehens. Vor uns schwebt im endlosen Himmelsraum eine sichtlich abgeplattete Kugel, die von helleren und dunkleren Streifen umgeben ist. Diese liegen zu den aus der Abplattung ihrer Lage nach leicht zu bestimmenden Polen und zum Ringe symmetrisch; der Ring scheint gewissermaßen nur eine Fortsetzung dieser Streifen über die Saturnkugel hinaus zu sein, denn auch auf dem Ringe setzen sich die Streifen fort. Je tiefere Einblicke wir in die Natur des Ringes tun, desto mehr Trennungen werden entdeckt, in desto mehr einzelne ineinander gepaßte Ringe zerfällt dieser Reif, dessen Existenz in seiner unwandelbaren Lage bis in unsere Tage hinein den Theoretikern ein unlösbares Rätsel schien. Nicht genug mit dieser entzückenden Symmetrie des Aufbaues, umgibt noch ein Reigen von zehn Monden den Planeten, die gleichfalls größtenteils nahezu in derselben Ebene mit dem Äquator und den Ringen um das Zentrum des sekundären Weltsystems in festen Bahnen geleitet werden. Wer könnte noch, wenn auch ohne Kenntnis von den sonstigen Einrichtungen des Weltgebäudes, beim Anblick dieses verkleinerten Planetensystems daran zweifeln, daß hier gemeinsame Ursachen dem Aufbau einer ausgedehnten Welt zugrunde liegen, daß Einheitlichkeit das Grundprinzip ist, nach dem die Natur hier wie überall in unserer näheren Umgebung schafft?

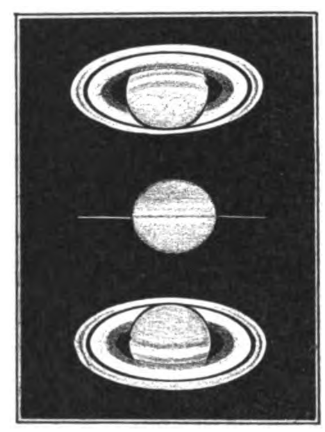


Zeichnungen des Saturn mit seinem Ringe aus der ersten Zeit teleskopischer Beobachtung. Nach Huygens' „Systema Saturnium". Vgl. Text, S. 171.

Dieses ganze System zieht, in unerschütterlicher Lage der einzelnen Glieder untereinander, soweit sie nicht ihre relativ kreisende Bewegung haben, vor den festen Sternen des Firmamentes langsam seine Straße. Erst in 29½ Jahren kehrt der Planet mit seinem großen Gefolge zu denselben Fixsternen zurück. Die synodische Umlaufszeit dagegen, also die Zeit, nach welcher der Planet wieder in die gleiche Lage zur Sonne gelangt, und nach der sich die Zeiten regeln, in denen er am günstigsten für uns zu beobachten ist, beträgt bei Saturn nur 1 Jahr und 13 Tage. Offenbar muß diese synodische Periode sich um so mehr einem Jahre nähern, je langsamer die Bewegung des Planeten unter den festen Sternen ist, die alle Jahre wieder die nämliche Stellung zu uns einnehmen. Innerhalb der Zeit von 29½ Jahren ändert sich die Lage der Ringebene zu unserer Gesichtslinie periodisch derart, daß wir während der einen Hälfte dieser Zeit die obere Seite des Ringes, während der anderen die untere Seite sehen. Oben und unten ist in diesem Falle so zu verstehen, daß wir „oben" die Lage nennen, in der wir den vor der Kugel liegenden und sie mehr oder weniger verdeckenden Teil des Ringes tiefer liegend (im umkehrenden Fernrohr) sehen, den hinter der Kugel befindlichen dagegen oberhalb. Während des Überganges zwischen den beiden Lagen sehen wir eine kurze Zeit lang auf die Schärfe des Ringes und bemerken dann mit Staunen, daß er ungemein dünn ist. Nachdem der Ring immer schmaler

und schmaler geworden ist und allmählich alle Details auf ihm verschwunden sind, wird er zu einer ganz dünnen Lichtlinie, die endlich völlig verschwindet, so daß oft selbst in den besten Fernrohren einige Tage hindurch Saturn plötzlich ringlos wie irgend ein anderer Planet auftritt. Nur zuweilen erkennt man noch eine Spur, die sich stellenweise perlenschnurähnlich in einzelne Lichtpünktchen auflöst. Als einzige Andeutung des Ringes bleibt sein Schatten übrig, den man über die Äquatorgegend der Kugel als feine schwarze Linie hinziehen sieht. Nun öffnet sich der Ring wieder, um die andere Seite zu zeigen, die nahezu 15 Jahre hindurch für die irdischen Beobachter unsichtbar geworden war, und erreicht in etwa 7 Jahren seine größte Öffnung.

Die untenstehende Abbildung führt den Anblick des Saturn in seinen extremen Lagen zu uns vor. Die obere, südliche Seite des Ringes (untere Abbildung) war von 1878, als Hall mit dem damals größten Fernrohre der Welt in Washington das gänzliche Verschwinden des Ringes wahrnahm, bis 1891 sichtbar. Im letztgenannten Jahr, um den 20. Oktober herum, verschwand der Ring gleichfalls für sämtliche Sehwerkzeuge; der genaue Moment des Verschwindens war aber wegen der großen scheinbaren Nähe des Saturn zur Sonne nicht zu beobachten. Bereits am 25. glaubten Comstock und Townley auf dem Washburn-Observatorium Spuren des Ringes wiederzusehen, obgleich Holden auf der Lick-Sternwarte erst am 29. Oktober den Ring unzweifelhaft auftauchen sah. Seitdem ist die untere, nördliche Seite des Ringes sichtbar, und im Frühjahr 1907 mußte derselbe abermals verschwinden, freilich zu einer Zeit, zu der Saturn wegen seiner scheinbaren Nähe zur Sonne nicht zu beobachten war.



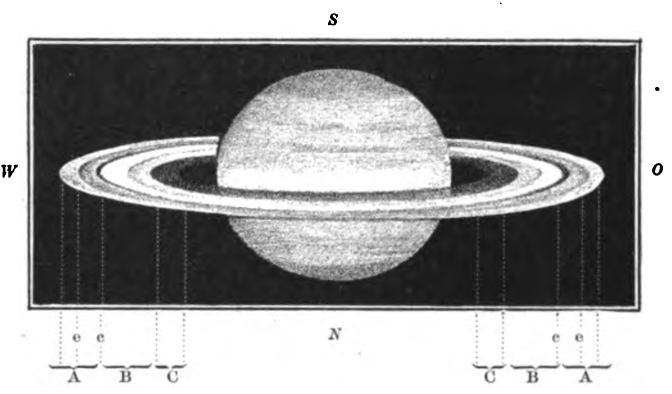
Der Anblick des Saturn in seinen extremen Lagen.

Außer diesen durch die verschiedene Öffnung des Ringes hervorgebrachten Änderungen des Anblicks hat Saturn im großen und ganzen stets dasselbe Aussehen. Phasen der Beleuchtung durch die Sonne, die bei Jupiter noch in den Quadraturen zu bemerken waren, treten sozusagen nur noch theoretisch auf. Seine Entfernung von der Sonne und von uns ist schon zu groß, als daß der Lichtstrahl, den der Planet von seiner Oberfläche zu uns zurückwirft, einen für die Phase merklichen Winkel mit der Richtung zur Sonne machen könnte. Saturn ist 9½mal weiter als die Erde oder 1418 Millionen Kilometer von der Sonne entfernt. Je nachdem wir uns nun diesseits oder jenseits der Sonne vom Saturn aus gesehen befinden, wird seine scheinbare Größe also etwa im Verhältnis von 9,5—1 und 9,5+1 schwanken. Die Winkelausdehnung des äquatorialen Durchmessers variiert infolgedessen zwischen 15 und 21″. Die größte scheinbare Ausdehnung der Saturnkugel, also ohne den Ring, erreicht demnach noch nicht die größte des Mars. Wegen der viel größeren Entfernung des Saturn folgt hieraus indes ein viel beträchtlicherer wahrer Durchmesser, der sogar dem des Jupiter nicht viel nachgibt: er beträgt 123,000 km (Barnard) oder das 9½fache des Erddurchmessers und anderthalb Erddurchmesser weniger als Jupiter. Saturn ist die zweitgrößte Welt im Sonnenreich.

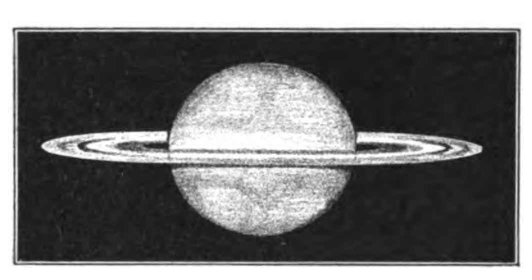
Auch beim Saturn ist der polare Durchmesser wesentlich kürzer als der äquatoriale: er beträgt nur 112,300 km. Die Entfernung von Pol zu Pol ist also dort fast um einen Erddurch-

messer kleiner als die zwischen zwei Punkten des Äquators, durch den Mittelpunkt des Planeten gemessen. Aus dieser starken Abplattung von 1:11,5, der größten unter allen Planeten, können wir von vornherein auf eine schnelle Umdrehung des Planeten um seine Achse schließen.

Das *Ringsystem* des Saturn teilt sich in drei sichtlich verschiedene Abschnitte, die auf nebenstehender Zeichnung unten durch die Buchstaben A, B und C kenntlich gemacht sind. A, *der äußere Ring*, erstreckt sich vom äußeren Rande des ganzen Systems bis zu der schon früher erwähnten *Cassinischen Trennung*. In ihm unterscheidet man noch eine feinere Teilungslinie, die sogenannte *Enckesche Trennung* oder die Bleistiftlinie. (Siehe Zeichnung, S. 175, oben.) Diese Linie pflegt man gewöhnlich in der Mitte zwischen der Cassinischen Trennung und dem äußeren Rande des Ringsystems zu sehen, indessen konnte Schiaparelli mit dem Verfasser 1881 feststellen, daß sie zeitweilig auf einer Seite des Ringes dem äußeren Rande näher gerückt erscheint, während sie auf der anderen Seite wie immer auftritt. Eine solche exzentrische Lage wurde auch später (1888) von Perrotin in Nizza wieder gesehen, doch fand sie damals auf der entgegengesetzten Seite statt, als es 1881 in Mailand und Genf bemerkt worden war. Auch Trouvelot sah die wechselnde Lage der Enckeschen Trennungslinie und bemerkte überhaupt, daß gelegentlich alle Zonen des Ringes ihre Größe und Helligkeit schnell ändern können. Namentlich ist die Helligkeit der beiden Ringansen wechselnd verschieden.

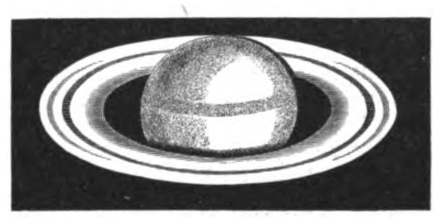


Bezeichnung der Saturnringe und der Trennungen: A = äußerer heller Ring, B = innerer heller Ring, C = dunkler oder Schleier-Ring, e = Enckesche Trennung, c = Cassinische Trennung. Vgl. Text, S. 176.


Saturn, einige Monate vor und nach dem Verschwinden der Ringe. Die Größe dieser Darstellung gibt im Vergleich zu der obenstehenden Abbildung die relativen Schwankungen der scheinbaren Größe des Planeten in seinen extremen Stellungen zur Erde. Aus 1 m Entfernung gesehen, erscheinen die beiden Bilder unter demselben Winkel wie der Planet selbst in einem 300fach vergrößernden Fernrohre in jenen Stellungen zur Erde.

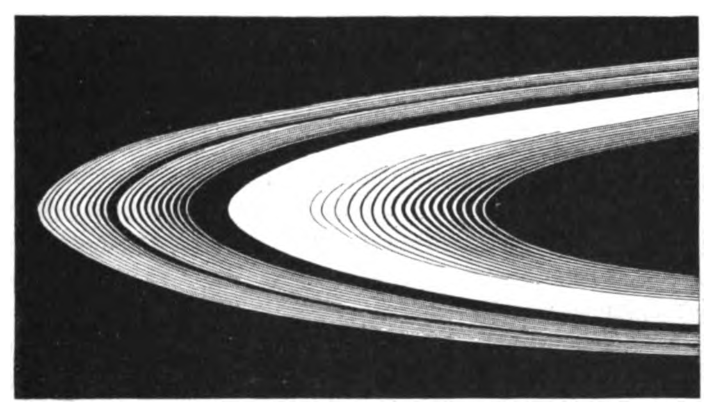
Die veränderliche Lage der Trennungslinien (denn auch von der Cassinischen glaubt man gelegentlich eine solche wahrgenommen zu haben) läßt sich auch durch eine wechselnde exzentrische Lage der einzelnen Ringe zueinander und zum Saturnzentrum erklären. Schon vor geraumer Zeit hatten Beobachter eine solche unsymmetrische Lage wahrgenommen, und andere hatten sie wieder auf Grund genauer Messungen bestritten. Es ist sehr wahrscheinlich, daß die dem Saturn nächste Stelle der exzentrischen Ringe sich selbst wieder im Kreise herumdreht, und zwar in 10—14 Jahren einmal. Wir werden im theoretischen Teile sehen, daß solche Bewegung eine notwendige Folge der besonderen Anziehungskraft ist, welche die

größeren Satelliten des Systems auf die vielleicht meteorstaubartigen Körperchen übt, aus denen die Ringe zusammengesetzt sein müssen. Die wahrgenommene Bewegung des „Perisaturniums", der Ringe, bestätigt also unsere Ansicht über ihre physische Beschaffenheit. Ferner scheinen die einzelnen Ringe auch gegeneinander etwas geneigt zu sein, nicht in ein und derselben Ebene zu liegen, und auch diese gegenseitige Lage ist einem periodischen Wechsel unterworfen. Die Ringe des Saturn sind somit nur in ihrer mittleren Gestalt eine beständige Erscheinung, bei genauerer Untersuchung aber in jeder Beziehung einem beständigen Wechsel unterworfen.



Saturn mit der Bleistiftlinie, gezeichnet von Encke in Berlin am 10. März 1838. Vgl. Text, S. 174.

Der zweite Ring B reicht von der Cassinischen Trennung bis zu einer Stelle, die sich nur in den besten Fernrohren als deutliche Begrenzung markiert. In Genf konnte sie der Verfasser nicht erkennen, während sie ihm in dem 26zölligen Refraktor in Wien unzweifelhaft entgegentrat. In mittleren Fernrohren verschwindet der Ring B an dieser Grenze mit ziemlich plötzlicher Lichtabstufung in der Dunkelheit, die das Ringsystem von der Kugel trennt. Von dem dritten Ringe sieht man in solchen Instrumenten nur bei sehr guten Bildern eine Spur. Der mittlere Ring B ist dagegen der hellste von allen und entschieden heller als die Kugel selbst. In sehr günstigen Augenblicken schien er mit Hilfe der kräftigsten Sehwerkzeuge in eine große Zahl einzelner, durch feinste Linien getrennter Ringe zu zerfallen, wie es die nebenstehende Zeichnung veranschaulicht. Wir sehen in ihr auch den Ring A von vielen Linien durchfurcht, unter denen die Enckesche nur als die breiteste auftritt. Besonders deutlich glauben Brenner und Wonaszek Teilungen im äußeren Ringe A gelegentlich gesehen zu haben, der erstere eine innerhalb der Enckeschen Trennung, der letztere außerhalb derselben.



Feinste Teilungen im Ringsystem des Saturn.

Am wunderbarsten erscheint der innerste Ring C, der sogenannte Schleier- oder Florring. Er besteht nur aus einem matten, bläulichen Schimmer, durch den die Kugel bei günstiger Stellung wie durch einen Schleier sichtbar bleibt. Wenn auch seine ganze Erscheinung nicht die Deutlichkeit der anderen Ringe hat, so ist er doch in den modernen Fernrohren ein ganz unzweifelhaftes Objekt und zeigt sich auch insofern als ein materielles Etwas, als er nach der Kugel zu sehr scharf abgegrenzt ist und sich nicht etwa allmählich durch die Überstrahlung der Kugel verliert. Angesichts des Gitterwerkes von ineinander gesteckten Ringen, das man gelegentlich in den übrigen Teilen des wunderbar leuchtenden

Kranzes um den fernen Planeten bemerkt hat, mag man wohl auf die Vermutung kommen, in dem Schleierringe häuften sich die dunkeln Trennungslinien so sehr, daß sie weit mehr Raum einnehmen als die hellen Linien der Ringe selbst, wodurch dieses schleierhaft durchsichtige Gebilde entsteht. Barnard sagt, „daß der dunkle Ring gleichsam auf Kosten des hellen in diesen übergeht".

Wenngleich man, wie erwähnt, die Saturnkugel durch den Florring glaubte durchscheinen sehen zu können, so war doch diese Wahrnehmung nicht ganz sicher, und man suchte deshalb schon lange nach einem deutlicheren Beweis für die wirkliche Durchsichtigkeit des Florringes. Am besten hätte man dies bei einem etwaigen Vorübergange des Saturn vor einem Fixstern entscheiden können. Aber für das Eintreffen eines solchen Ereignisses war wenig Aussicht. Newcomb hatte ausgerechnet, daß der Ring durchschnittlich nur alle 1000 Jahre einmal vor einem Sterne 3. Größe vorübergeht, vor einem solchen 9. Größe allerdings, die entsprechend zahlreicher sind, bereits alle anderthalb Jahre. Aber die Helligkeit solcher Sterne wäre schon zu gering, um entscheidende Beobachtungen zuzulassen. Da traf es sich ungemein günstig, daß nach einer Vorausberechnung von Marth der Saturnmond Japetus am 1. November 1889 den Schatten der Ringe durchqueren mußte, und daß dieses eigenartige Phänomen ganz so, wie es vorausgesehen war, von Barnard mit dem 12zölligen Refraktor der Lick-Sternwarte verfolgt werden konnte. Barnard bestimmte nun mit möglichster Genauigkeit die Veränderungen der Lichtstärke des Japetus während jener Beschattung und leitete daraus eine Kurve der Helligkeitsschwankungen ab. Aus derselben ergab sich, wie naturgemäß die Helligkeit ganz plötzlich bis zu ihrem Maximum stieg, als der Mond aus dem Schatten der Kugel, der ihn unsichtbar gemacht hatte, hervortrat. Nun fand aber, noch bevor der etwaige Schatten des Schleierringes über den Japetus hinstrich, während also die Sonnenstrahlen zwischen dem Planeten und seinem Ringsystem hindurchschlüpften, eine langsame Abnahme der Helligkeit statt. Das beweist, daß auch hier der Raum nicht ganz durchsichtig ist, also vermutlich von einigen jener kleinsten Körper durchzogen wird, die das Ringsystem aufbauen. Sobald aber der Mond in den Schatten des Florringes trat, begann er schneller dunkler zu werden, blieb jedoch immer noch sehr gut sichtbar, bis er von dem hellen Ringe B beschattet wurde. Kurz vorher schon hatte die Helligkeit rapid abgenommen, und nun verschwand der Satellit wieder gänzlich wie im Schatten der Kugel selbst. Diese wichtigen Wahrnehmungen, die später von Hugo Buchholz einer strengen mathematischen Prüfung unterzogen worden sind, bestätigen durchaus unsere Ansicht von der Zusammensetzung der Saturnringe.

Auch die Cassinische Trennung ist, obgleich sie ganz schwarz zu sein scheint, nicht frei von Materie, bezw. von kleinen Satelliten. So sah der Verfasser am 29. November 1883 am großen Wiener Refraktor mit einem anderen Astronomen auf der östlichen Seite des Ringes in der Trennung deutlich zwei Stellen, in denen diese Trennung dunkler, also noch durchsichtiger war als in ihrem sonstigen Verlaufe.

Die Dimensionen der drei Ringe sind nach Barnards Messungen die folgenden. Von einem Ende zum anderen mißt das ganze Ringsystem 277,800 km; man könnte also in der großen Achse der scheinbaren Ringellipse etwa $21^3/_4$ Erdkugeln aneinanderreihen. Der Ring A, also die Strecke, die auf unserer Abbildung, S. 174, oben, auf jeder Seite mit A bezeichnet ist, ist bis zur Mitte der Cassinischen Trennung, die immerhin eine Kluft von ca. 3600 km bildet, 17,800 km, also etwa anderthalb Erddurchmesser breit. Die Strecke B hält etwa 30,900 km

der ganze Ring B, von c links bis c rechts gemessen, 238,900 km, die Breite des Schleierringes, also C, auf jeder Seite 17,500 km, sein Durchmesser von den inneren Rändern gemessen 142,000 km, und von seiner innersten Kante bis zur Oberfläche der Saturnkugel sind es noch etwa 9500 km, also weniger als ein Erddurchmesser. Im ganzen hält das Ringsystem auf jeder Seite 67,900 km, d. h. mehr als fünf Erdkugeln könnten auf jeder Ringanse nebeneinander gereiht werden.

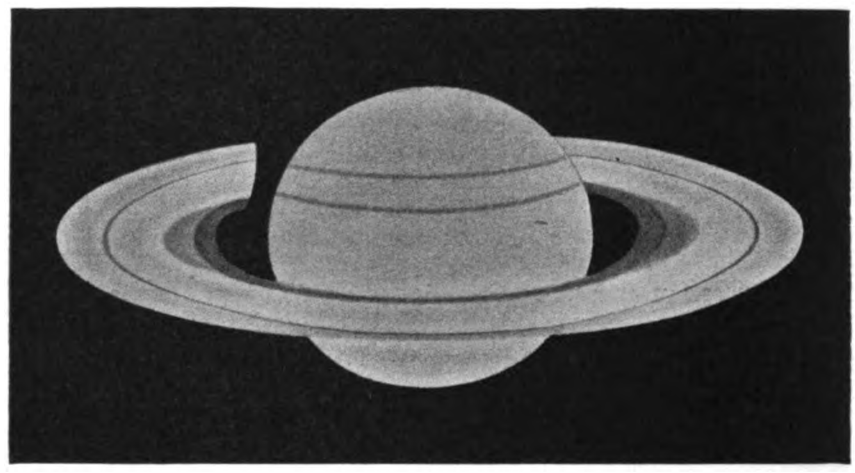
Angesichts dieser gewaltigen Dimensionen ist die ungemein geringe Dicke der Ringe um so auffälliger und wunderbarer. Direkt meßbar ist sie überhaupt nicht mehr. Wir wissen bereits, daß der Ring ganz verschwindet, wenn wir gerade auf seine Schärfe sehen. Bessel hatte daraus geschlossen, daß er sicher nicht über 220—230 km dick sein könne. Es scheint indes, daß selbst diese Annahme noch wesentlich zu hoch gegriffen ist. Aus einer Beobachtung des Schattens, den der Ring während seiner Unsichtbarkeit im Oktober 1891 auf die Kugel warf, folgerte Holden (mit Rücksicht darauf, daß der Schatten breiter sein mußte als der Ring, da die Sonne um diese Zeit ihre Strahlen nicht so senkrecht auf die Ringschärfe sandte, wie unsere Gesichtslinie gerichtet war), daß der Ring höchstens 80 km dick sein könne. Wollten wir also einem Modell des Ringes die Festigkeit von Kartonpapier geben, so müßten wir, um die Größenverhältnisse richtig darzustellen, die Ringscheibe über 1 m groß machen.

Vermutliche Form des Querschnittes der Saturnringe. Schematisch und wesentlich überhöht.

Aber der Ring ist jedenfalls nicht überall gleich dünn; er hat, wie die besonderen, sich auf den Ring projizierenden Umrisse des Schattens der Kugel beweisen, ein gewisses Relief, das nicht ganz unveränderlich zu sein scheint. Immer aber spitzen sich die einzelnen Ringe, soweit man dies überhaupt aus den Schattenumrissen ersehen konnte, nach der Kugel zu, während sie nach außen hin sich aufwölben und abrunden. Der Durchschnitt jedes Ringes scheint also auf beiden Seiten etwa die Form eines Birnendurchschnittes zu haben, wie es übertrieben die obenstehende Zeichnung angibt. Die eigentümliche Form des Saturnschattens zeigt auch die auf Seite 178 stehende Zeichnung, die Guthnick am 20. Oktober 1904 entworfen hat. Diese Schattenform kehrt nach Wonaszek in etwa fünfjähriger Periode wieder. Wir können sie auch so erklären, daß die einzelnen Bahnen der Partikel eine periodisch wechselnde Neigung haben, durch die dann der Ring zeitweilig und nur nach oben oder unten aufgewölbt wird. Sein Durchschnitt hätte dann nicht die oben angegebene Birnenform, sondern sähe aus wie ein aufgewölbtes Blatt Papier. Irgendwelche Details, Unebenheiten oder ungleiche, sich nicht konzentrisch über den Ring verbreitende Helligkeiten hat man nur in sehr wenigen Fällen, und dann noch meist unsicher beobachtet, so daß man über die Umdrehungsgeschwindigkeit des Ringsystems direkte unzweifelhafte Wahrnehmungen nicht besitzt. Denning glaubt jedoch kürzlich einen hellen Fleck auf dem inneren Ringe B genügend verfolgt zu haben, um aus ihm auf eine Umdrehungszeit von 14 Stunden 24 Minuten schließen zu können. Er befindet sich dabei in relativ guter Übereinstimmung mit einer älteren Beobachtung Secchis, die 14 Stunden 23 Minuten ergab. Theoretisch muß die Umlaufszeit in den verschiedenen Teilen des Ringsystems ungleich sein, so daß der innerste Rand des Schleierringes bereits in 5,2 Stunden

einen Umlauf vollendet hat, während der äußerste Rand von A 13,8 Stunden dazu braucht. Die oben angeführten Beobachtungen würden also mit der Theorie unvereinbar sein. Die einzelnen Ringe bewegen sich demnach mit sehr verschiedenen Geschwindigkeiten, die aber alle sehr groß sind; der innerste Ringrand eilt sogar den ihm am nächsten liegenden Oberflächenteilen des Saturnäquators beträchtlich voraus.

Eine interessante Bestätigung dieser theoretisch als notwendig gefundenen Umlaufsverhältnisse hat das Spektroskop zu geben vermocht. Als nämlich Keeler auf dem Alleghany-Observatorium den Spalt seines Spektroskopes derart auf den Saturn richtete, daß der Spalt die Längsachse des Ringsystemes bildete, entstand ein Spektrum wie das, welches wir auf unserer Spektraltafel, bei S. 331 wiedergegeben haben. Letzteres ist später von Campbell auf der Lick-Sternwarte mit besseren Mitteln in sonst gleicher Weise hergestellt



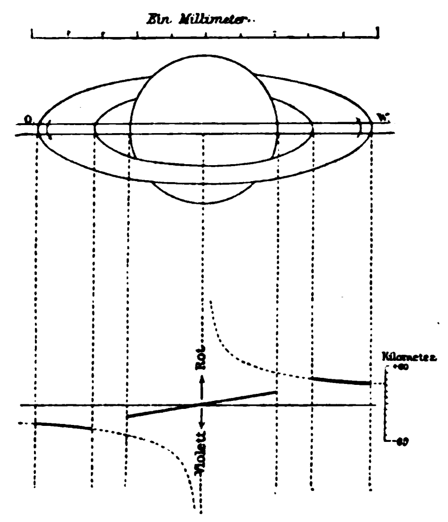
Saturnschatten auf dem System der Saturnringe. Nach einer Zeichnung von Guthnick vom 20. Oktober 1904. Vgl. Text, S. 177.

worden. Es mußte so ein Spektrum der Saturnkugel zugleich mit den beiden Ringansen dicht neben ihm herlaufend entstehen. Zum Vergleich erzeugte man noch ober- und unterhalb ein Spektrum des Mondlichtes. Die dieses System von Spektren horizontal durchziehenden Streifen entsprechen den Zwischenräumen zwischen Kugel und Ring und zwischen Saturn- und Mondspektrum. Quer verlaufend dagegen zeigen sich die Fraunhoferschen Absorptionslinien. Sie müßten eigentlich ununterbrochen das Farbenband durchziehen. Da dies aber nicht der Fall ist, sondern gegenüber den Linien des Mondspektrums die des Saturn schräg verlaufen und sich deutlich verschoben zeigen, so müssen wir schließen (S. 60 u. 61), daß hier Verschiebungen durch Bewegungen der Lichtquelle entstehen.

In der Zeichnung auf Seite 179 ist schematisch die Art dieser Verschiebung für unseren Fall dargestellt. Die den Saturn durchschneidenden Parallellinien geben die Lage des Spaltes an; Kugel und Ring bewegen sich in der Pfeilrichtung von Osten nach Westen. Unten ist die Lage einer Absorptionslinie angegeben, wie sie der Rechnung gemäß stattfinden muß, wenn sich die einzelnen Teile des Ringes selbständig nach den im zweiten Hauptteile dieses Werkes näher zu besprechenden Gesetzen bewegen. Die Geschwindigkeit der Ringteile muß danach, wie oben angegeben, von außen nach innen zunehmen. Auf der Ostseite, wo die

Bewegung zu uns her gerichtet ist, muß also eine Spektrallinie der betreffenden Anse überhaupt nach dem Violett verschoben sein, aber gegen die Kugel hin noch mehr als nach außen, die Linie muß also schräg verlaufen. Eine von der Kugel erzeugte Linie muß ebenfalls schräg liegen, aber in einer anderen Richtung, weil die Geschwindigkeit ihrer Teile gegen die Gesichtslinie nach der Mitte der scheinbaren Planetenscheibe zu, wo sie offenbar gleich Null wird, beständig abnimmt und dann in die umgekehrte Richtung übergeht. Eine von der westlichen Anse erzeugte Linie muß im ganzen nach dem roten Ende verschoben sein, aber weniger nach außen hin als nach innen.

Die spektroskopische Aufnahme, die bisher nur auf photographischem Wege möglich war, bestätigt diese theoretische Forderung glänzend, wie der Augenschein unmittelbar lehrt. Genauere Messungen an 50 Linien ergaben für die Bewegung eines Punktes der Saturnkugel selbst am Rand ihrer scheinbaren Scheibe 10,3 km in der Sekunde, was mit den direkten Beobachtungen völlig übereinstimmt, und für einen Punkt in der Mitte des hellen Ringsystems 18 km. Die Theorie ergibt dafür 18,8 km; die Differenz liegt innerhalb der Unsicherheit der Bestimmung. Wir haben hier gleichzeitig eine der bemerkenswertesten Bestätigungen des Dopplerschen Prinzips für die Messungen von Geschwindigkeiten in der Gesichtslinie vor uns.



Theoretisch ermittelte Lage der Absorptionslinien im Spektrum des Saturn und seiner Ringe. Vgl. Text, S. 178.

Die **Kugel** des Saturn ist, wie die des Jupiter, von **hellen und dunkeln Streifen** umgeben, wodurch ihre allgemeine Helligkeit merklich geringer wird als die des Ringes, wenigstens in dessen mittleren, hellsten Partien. Photometrische Untersuchungen über diese relativen Helligkeiten haben zu wichtigen Schlüssen über die physische Beschaffenheit der Ringe geführt. Wir müssen jedoch an dieser Stelle darauf verzichten, näher auf diese Frage von der geheimnisvollen Zusammensetzung dieser Gebilde einzugehen, ehe wir nicht das Wesen der Schwerkraft kennen gelernt haben. Wir haben uns hier auf den Hinweis zu beschränken, daß die Theorie mit Sicherheit nachzuweisen vermochte, daß, wie weiter oben schon mehrfach angedeutet, die **Ringe** aus einer **Unzahl ganz kleiner Satelliten** zusammengesetzt sind, welche in dieser Kopie des Sonnensystemes etwa die Rolle des Gürtels der kleinen Planeten spielen, aber so dicht gesät sind, wie etwa die einzelnen materiellen Teilchen in einer Staubwolke, die wohl unter sich eine gewisse Selbständigkeit bewahrt haben, im großen und ganzen jedoch dem allgemeinen Zuge der die Wolke treibenden Macht folgen müssen.

Die **Albedo** des Saturn ist, in Teilen von jener des Mars ausgedrückt, 3,28, also noch etwas größer als bei Jupiter und nahezu so groß wie bei dem relativ hellsten Planeten, Venus (3,44). Wir könnten schon hieraus nach den bisher gemachten Erfahrungen auf eine dichte Wolkenumhüllung des Saturn schließen, und in der Tat wird dies durch direkten Anblick sowohl wie durch das Spektroskop bestätigt. Huggins, Vogel, Secchi, Janssen stimmen

darin überein, daß das Spektrum der Saturnkugel eine sehr große Ähnlichkeit mit dem des Jupiter hat, und daß im besonderen auch das beim Jupiter erwähnte rote Band bei 618 $\mu\mu$ hier wieder erscheint. Sehr interessant, aber angesichts der eben erwähnten Überzeugung von der Konstitution der Ringe vorauszusehen, ist die auch mit Hilfe des großen Lick-Refraktors von Keeler und dann 1898 bei einer besonders günstigen Gelegenheit mit dem großen Yerkes-Refraktor bestätigte Tatsache, daß dieses Band im Spektrum des Ringes nicht auftritt. Diesen umgibt also keine Dunsthülle.

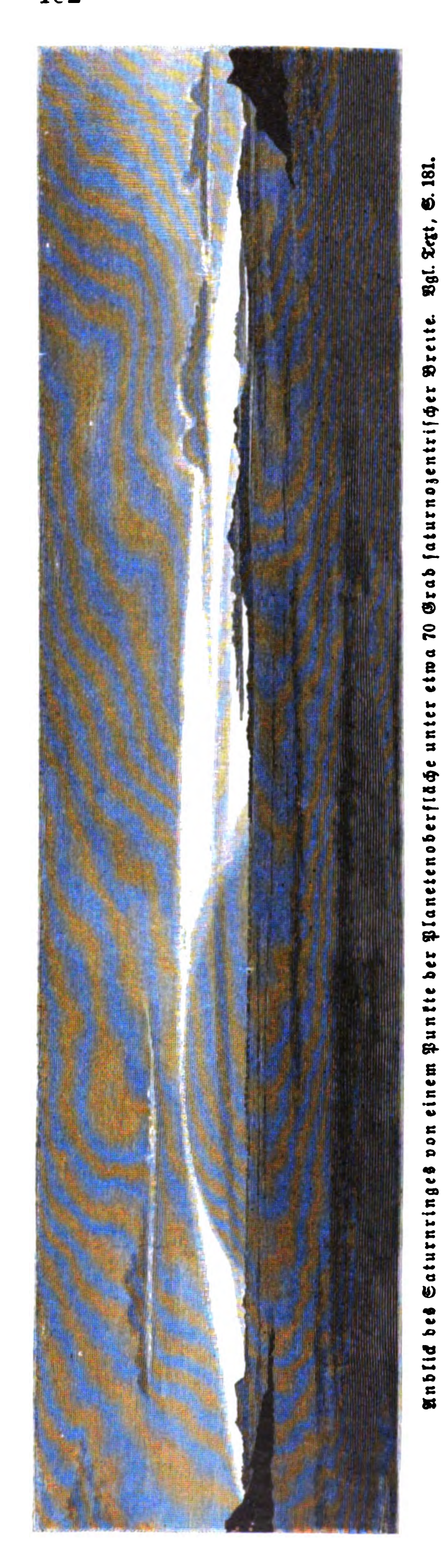
Die um die Saturnkugel herumlaufenden Streifen geben ihr ganz das Aussehen des Jupiter, wenn man diesen mit geringeren Vergrößerungen betrachtet, wie es etwa der beinahe doppelt so großen Entfernung des Saturn entspricht. Es ist deshalb sehr wahrscheinlich, daß man auf Saturn ebenso viele Einzelheiten sehen würde wie auf seinem sonnennäheren großen Gefährten, wenn er sich in gleicher Entfernung befände. In Wirklichkeit aber sind deutlich zu unterscheidende Flecke auf der Kugel selten, wenn auch nicht so selten wie auf den Ringen. Aus früheren Beobachtungen solcher Flecke hatte man die Rotationszeit der Kugel zu 10 Stunden 14½ Minuten abgeleitet, was wieder der Rotationszeit des Jupiter sehr ähnlich ist. Im Juni 1903 erschien auf dem Planeten ein ungewöhnlich deutlicher heller Fleck bei etwa 36 Grad Nordbreite, der zuerst von Barnard gesehen wurde. In seiner Nähe wurden dann bald noch einige kleinere Flecke erkennbar, deren Bewegung von Barnard, Denning und anderen bis in den Dezember jenes Jahres verfolgt werden konnte. Aus diesen Beobachtungen ergab sich die überraschende Tatsache, daß die Rotation des Saturn in diesen Breiten wesentlich langsamer ist, als man bisher fand, und sicher innerhalb der Minute bei 10 Stunden 38 Minuten liegt. Aus der Diskussion aller bezüglichen Wahrnehmungen geht hervor, daß auf Saturn ganz ebenso wie auf dem ja auch sonst ihm so sehr verwandten Jupiter eine äquatoriale Strömung existiert, die der Rotation vorauseilt; auf Jupiter beträgt sie wahrscheinlich etwa 400 km in der Stunde, bei Saturn scheint sie bis zu 1400 km zu erreichen. Die Geschwindigkeit eines Punktes am Saturnäquator ist folglich nicht viel geringer als bei Jupiter und beträgt etwa 10,1 km in der Sekunde. Diese enorme Geschwindigkeit erklärt die streifenförmige Ordnung der Wolkengebilde auf Saturn in gleicher Weise wie auf Jupiter.

Auch eine Einteilung in eine heiße, gemäßigte und polare Zonen auf Saturn ist durch den bloßen Anblick ähnlich wie bei Jupiter zu bemerken. Am hellsten ist der äquatoriale Gürtel, dessen Breite etwa zwischen 12 und 18° schwankt. Die beiden Gürtel der gemäßigten Zone scheinen sich von hier nördlich und südlich bis in die vierziger Breitengrade auszudehnen; die südliche entsprechende Zone reichte 1881 nach Genfer Messungen bis zu 47°; die nördliche war um diese Zeit durch den Ring verdeckt. Das folgende Südpolargebiet erschien damals etwas heller als das anliegende, aber dunkler als der äquatoriale Gürtel. Die Helligkeit der Polargebiete scheint Schwankungen unterworfen zu sein, die nach Herschels Vermutung mit den Jahreszeiten im Zusammenhange stehen. Das Jahr des Saturn umfaßt den gleichen Zeitraum wie der scheinbare Gestaltwechsel seines Ringsystemes, nämlich 29½ unserer Jahre. Ebenso wie innerhalb dieses Intervalles abwechselnd die eine und die andere Seite des Ringes von der Sonne beschienen wird, wechseln auch nur alle 15 Jahre einmal Nacht und Tag in den Polargebieten des sonnenfernen Planeten. Wenn nun nach fünfzehnjähriger Polarnacht ein solches Gebiet zuerst wieder von der Sonne beschienen wird, scheint es etwas heller zu sein als die seit einer gleich langen Zeit

beständig von den Sonnenstrahlen getroffene, gegenüberliegende Polarregion. Wenigstens glaubte dies Herschel aus seinen zwischen 1793 und 1806 angestellten Beobachtungen schließen zu dürfen. Auf einer Zeichnung von Williams ist die Südpolarzone entschieden dunkler dargestellt als die nördliche. Zehn Jahre vorher sah sie der Verfasser heller als die angrenzenden Gebiete, etwa so, wie auf der Williamschen Zeichnung die Nordpolarzone auftritt. Diese war es, die sich damals langsam von der Nachtseite her der Sonne zuwendete, während dies vorher die südliche Kappe tat. Die Helligkeitsverteilung steht also in beiden Fällen im Einklange mit der Herschelschen Vermutung. Wir haben uns hier natürlich nicht etwa Verhältnisse vorzustellen, wie wir sie auf dem nahen Mars genauer kennen gelernt haben, denn wir sehen von den Oberflächen Saturns und Jupiters selbst gar nichts; von Schnee- und Eisbedeckung, die mit den Jahreszeiten wechselt, kann also keine Rede sein. Unsere Wahrnehmungen beziehen sich lediglich auf die äußere Wolkenumhüllung des Planeten, und wir können nur vermuten, daß auch dort, wie bei uns, die Sonnenbestrahlung einen Einfluß auf die Fülle der Wolkenentwickelung habe.

Einen eigentümlichen Reiz hat immer die Aufgabe ausgeübt, sich in den Anblick hineinzudenken, den für etwaige Bewohner der Saturnkugel der Ring gewährt. In den meisten populären astronomischen Werken findet man die wunderlichsten idealen Ansichten davon, weil man sich mit oberflächlichen Beurteilungen über die Lageverhältnisse begnügte. Unseren beiden Bildern (S. 182) liegen jedoch die genauen daneben gestellten perspektivischen Konstruktionen (S. 183) zugrunde. Die gestrichelten Linien bestimmen die begrenzenden Sehstrahlen des Bildes und den Abschnitt des Ringes, der für den betreffenden Standpunkt noch sichtbar ist. Die erste landschaftliche Darstellung gibt den Anblick von einem Punkt unter 70° Breite wieder; auf der perspektivischen Zeichnung auf S. 183 ist dieser Standpunkt mit S bezeichnet. Der Ring zieht sich in der ersten Landschaft als langgestreckter Bogen, nicht unähnlich unserem Dämmerungsbogen nach Untergang der Sonne, am Horizonte hin, durchaus nicht als besonders auffällige Erscheinung für ein irdisches Auge; höchstens könnte die als Enckesche Trennung bekannte dunkle Linie seltsam erscheinen. Aber dieser Dämmerungsbogen ändert seine Lage zum Horizonte nicht, sondern der Ring behält für jene Breite stets dieselbe Lage bei, und nur seine Beleuchtung wechselt mit den Tages- und Jahreszeiten. Der rund begrenzte, auf den Ring fallende Schatten rührt von der Kugel her. Gehen wir nun von unserem Standpunkte weiter nach dem Pole zu, so verschwindet der Ring unter dem Horizont; in der näheren Umgebung des Poles ist er überhaupt niemals zu sehen. Nähern wir uns dagegen dem Äquator, so steigt der Ring weiter empor, und unter einer saturnozentrischen Breite, die für uns etwa der von Berlin entspricht, zeigt er die Gestalt wie in unserer zweiten landschaftlichen Darstellung. Je weiter wir uns aber dem Äquator nähern, desto mehr verkürzt sich die Breite des immer steiler vom Horizont sich erhebenden Ringes, bis er am Äquator selbst nur als ganz schmale, kaum bemerkbare Linie senkrecht aufsteigt, beinahe so, als habe die Natur zur Erleichterung der astronomischen Arbeit die Himmelskugel in diese sichtbar getrennten Hemisphären zerlegt, und zwar durch eine Linie, die für den Saturnastronomen ebenso die Fundamentalebene bezeichnet, auf die alle Messungen und Bewegungen bezogen werden müssen, wie es mit unserem Äquator der Fall ist.

Aber noch eine andere seltsame Erscheinung würde unser Auge am Himmel des merkwürdigsten aller Planeten entzücken, das Spiel der zehn Monde, die jenseit der Ringe ihn in den verschiedensten Größen, Entfernungen, Geschwindigkeiten und Phasen um-

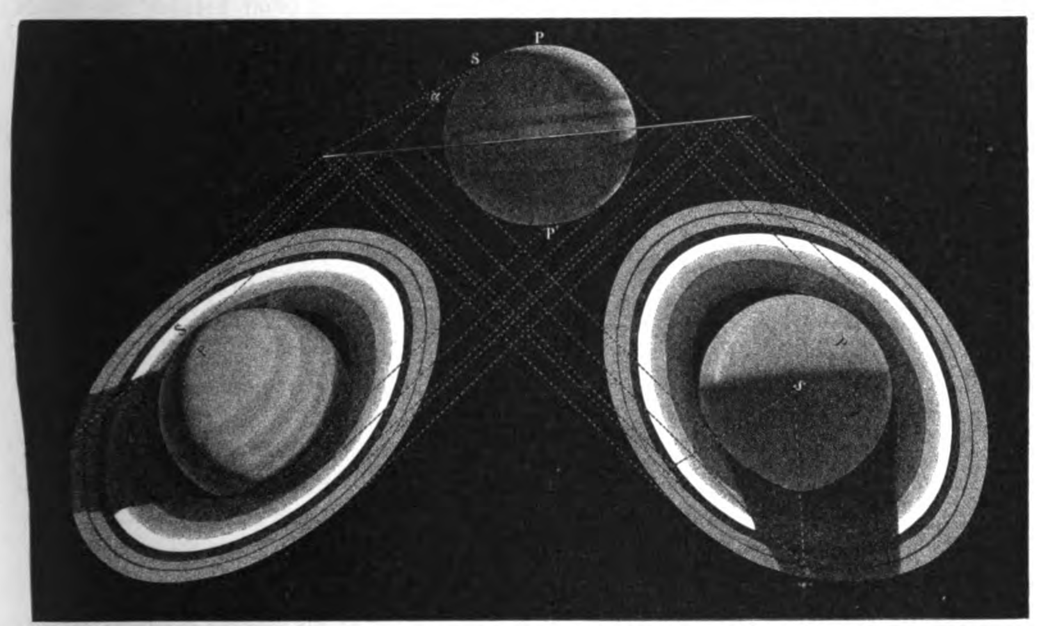


Anblick des Saturnringes von einem Punkte der Planetenoberfläche unter etwa 70 Grad saturnozentrischer Breite. Vgl. Text, S. 181.

Anblick des Saturnringes von einem Punkte der Planetenoberfläche unter etwa 50 Grad saturnozentrischer Breite. Vgl. Text, S. 181.

kreisen, so daß der Himmel des Saturn bei weitem der reichste und interessanteste von allen ist, in die sich unser Geist, von der Hand der Wissenschaft geleitet, zu versetzen vermag.

Der erste dieser Monde, Mimas genannt, gehört nebst seinem nächsten Nachbar in eine Kategorie mit jenen planetennahen Satelliten, denen wir auch bei Mars und Jupiter begegneten. Nur etwa 50,000 km, oder das Vierfache des Erddurchmessers, trennen Mimas vom äußeren Rande des Ringes. Vom Mittelpunkte seines Planeten ist er 3,1 Saturnhalbmesser entfernt. Das winzige Lichtpünktchen ist deshalb nur mit den kräftigeren Sehwerkzeugen deutlich zu erblicken. In Wien sah ihn der Verfasser mit dem dortigen 26-Zöller kaum leichter als in der reinen Luft Genfs mit dem Refraktor von 10 Zoll Öffnung.



Perspektivische Konstruktion des Anblicks der Saturnringe für zwei verschiedene Punkte der Saturnoberfläche. Vgl. Text, S. 181.

Für die Beurteilung der Grenzen der Sichtbarkeit himmlischer Objekte ist es interessant, daß es dem Verfasser im Sommer 1906 unter dem klaren Himmel Capris mit einem vorzüglichen Vierzöller von Zeiß in Jena wiederholt gelungen ist, Mimas unzweifelhaft zu sehen. Er wurde mit den übrigen gleichzeitig sichtbaren Satelliten eingezeichnet und dann nachträglich durch die Berechnung seines Ortes aus den „Ephemeriden" identifiziert. Dies war freilich nur durch jahrelange Übung in der Auffassung feinster Lichtpünktchen möglich, die nur bei längerem Warten in einem Augenblicke besonders günstigen Luftzustandes aufblitzen. Wir führten diese Wahrnehmungen hier an, weil unter diesen Umständen von optischen Täuschungen keine Rede sein kann, und sie also beweisen, wie in der Tat kleine Instrumente mit den größten gelegentlich konkurrieren können, wenn sie von vorzüglichster Qualität sind und besonders günstige Umstände für die Sichtbarkeit zusammenkommen. Es ist deshalb von vornherein nicht recht, wie es in neuerer Zeit so vielfach in bezug auf die Oberflächendetails des Mars geschehen ist, hinter die Beobachtungen mit so kleinen Instrumenten ein Fragezeichen zu machen, weil man solche mit größeren Instrumenten

nicht sah. Photometrische Messungen von Pickering geben dem Monde bei einer Helligkeit von 12,8 Größe einen Durchmesser von 470 km, so daß er immerhin von den Dimensionen der größeren Asteroiden ist; nur seine Entfernung von uns läßt ihn so winzig erscheinen. In weniger als einem Erdentage (22 Stunden 37 Minuten) hat er bereits den Umkreis seiner Bahn durchlaufen, welche an Ausdehnung der unseres Erdmondes fast gleichkommt.

Der zweite Mond, Enceladus, der, 12,3. Größe, kaum größer ist als Mimas, aber wegen seiner größeren Entfernung von dem leuchtenden Ringe viel leichter zu sehen ist, bewegt sich in 1 Tag 8 Stunden 53 Minuten um Saturn in einer Bahn, die ihn um 3,9 Saturnhalbmesser vom Mittelpunkte des Planeten entfernen kann. Sein Durchmesser mag etwa 590 km betragen. Tethys, der dritte Mond, ist schon beträchtlich größer als seine näheren Gefährten; nach Pickering etwa noch einmal so groß wie jene: 11,3. Größe, mit einem Durchmesser von 916 km. Tethys wurde mit dem Zeißschen Vierzöller in Capri nur $^3/_4$ Ansenlängen von der Ringspitze entfernt sofort von einer Dame gesehen und der Ort richtig angegeben, ohne daß dieser vorher angedeutet worden war. Der größte Abstand des Satelliten beträgt 4,9 Saturnhalbmesser, seine Umlaufszeit ist 1 Tag 21 Stunden 18 Minuten. Der folgende, vierte Mond, Dione, scheint wieder etwas kleiner zu sein als Tethys, 11,5. Größe, mit 870 km Durchmesser, doch ist dies nicht ganz sicher, da sie gleich den anderen Saturnmonden in ihren Lichtstärken offenbar schwankt. Dione bewegt sich in einem Abstande von 6,2 Saturnhalbmessern in 2 Tagen 17 Stunden 41 Minuten um den Planeten. Der fünfte Mond, Rhea, ist entschieden größer als die näheren; nach Pickering ist er 10,8. Größe und hält 1200 km im Durchmesser. Sein Abstand beträgt 8,7 Saturnhalbmesser, seine Umlaufszeit 4 Tage 12 Stunden 25 Minuten.

Diese fünf ersten Monde, deren Größe untereinander nicht allzu verschieden ist, aber an die der vier alten Monde des Jupiter nicht heranreicht, bilden eine besondere Gruppe, die etwa mit der der sogenannten inneren Planeten bis einschließlich Mars verglichen werden kann. Diese Planeten unterscheiden sich in fast allen charakteristischen Zügen von den großen äußeren Planeten. Anderseits haben wir schon bei der Schilderung der Saturnwelt ihre ungemein große Ähnlichkeit mit der des Jupiter in die Augen springen sehen.

Der sechste Mond, Titan, vertritt in dieser wunderbaren Kopie des Sonnensystems die Stelle des Jupiter. Er ist bei weitem das größte Glied der Saturnwelt. Man kann ihn bei starken Vergrößerungen und günstigem Luftzustande noch gerade als Scheibe unterscheiden. Nach Messungen Barnards und Husseys am Lick-Refraktor, die teilweise bei 2400facher Vergrößerung gemacht werden konnten, hat der Satellit einen Durchmesser von 0,633″ und erreicht demnach 4000 km Durchmesser. Die photometrische Größenbestimmung (9,4. Größe) gibt dagegen einen kleineren Wert; es zeigte sich aber, als Titan am 11. März und am 12. April 1892 vor Saturn vorüberging, daß er dunkler war als der Äquatorialgürtel des Planeten, also entschieden eine geringere Albedo hat als letzterer. Die photometrische Methode setzt eine gleiche Reflektionsfähigkeit voraus, wodurch die erwähnte Differenz einigermaßen erklärt scheint. Die Zeichnung auf Seite 185 veranschaulicht das Phänomen des Vorüberganges. Der Schatten des Mondes geht dabei dem Monde voran. Ersterer ist entschieden größer als der ihn erzeugende Körper, eine gleichfalls häufig in auffälliger Weise bei den Jupitersatelliten gemachte Wahrnehmung, die noch der näheren Aufklärung harrt. Deshalb sind auch die Schatten von Mimas und Enceladus viel deutlicher auf dem Planeten zu erkennen, als man es bei der Kleinheit dieser Körper erwarten sollte.

Wie die Gruppe der inneren und äußeren Planeten durch eine weite Lücke voneinander getrennt sind, die im Sonnensysteme durch den Asteroidengürtel ausgefüllt ist, so finden wir auch einen sehr großen Abstand zwischen Rhea und Titan: Rhea steht, wie oben angegeben, 8,6, Titan 20,22 Saturnhalbmesser oder 2,487,000 km vom Mittelpunkte seines Systems ab und bewegt sich in 15 Tagen 22 Stunden 41 Minuten um das Zentrum.

Wenn schon die Lücke zwischen Rhea und Titan auffällig war und den Gedanken aufkommen ließ, es könne sich angesichts der großen Ähnlichkeit des Saturn- mit dem Sonnensystem auch hier vielleicht ein Gürtel kleiner Satelliten befinden, so blieb doch vor der Entdeckung des siebenten Mondes, Hyperion, die fast zu gleicher Zeit von Bond in Cambridge (Nordamerika) und von Lassell auf Malta am 16. und 18. September 1848 geschah, noch eine weit größere Kluft zwischen Titan und dem bis dahin letzten Monde des Systems, Japetus, die sich von 22,2 bis zu 59 Saturnhalbmessern erstreckt. Hier fand man nun den siebenten Mond, Hyperion, mit einem Durchmesser von ca. 300 km als bei weiten kleinsten unter den bis dahin bekannten Gliedern des Systems, von 13,7. Größe, auf. Da er den Planeten in einer mittleren Entfernung von 24,5 Saturnhalbmessern umkreist, so bleibt ein weiter Spielraum, in dem man das winzige Lichtpünktchen suchen muß, wenn man nicht durch Berechnungen seinen Ort voraus ermittelt hat. Aus diesem Grunde haben wohl nur wenige Astronomen diesen überaus fernen und kleinen Mitbürger unseres Sonnenreiches jemals zu Gesicht bekommen. Er vollendet seinen Umlauf in 21 Tagen 6 Stunden 38 Minuten. In dieser Lücke ist inzwischen wieder ein kleinerer Mond entdeckt worden, auf den wir sogleich zurückkommen.



Vorübergang des Titan vor dem Saturn, am 11. März 1892 beobachtet von Freeman. Vgl. Text, S. 184.

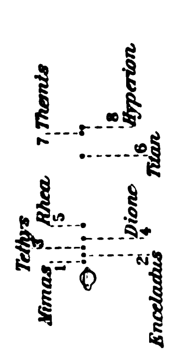
Der achte unter den bis vor kurzem bekannten Monden, Japetus, ist nach Pickering etwa von der Größe der Tethys oder der Dione, 780 km im Durchmesser und 11,7. Größe. Seine Helligkeit ist aber in der auffälligsten Weise periodischen Schwankungen unterworfen, aus denen wir auf die Gleichheit von Revolution und Umlaufszeit schließen müssen. Befindet sich Japetus in seiner westlichen Elongation, so ist er selbst für Fernrohre von mittlerer Kraft ein unschwer zu erkennendes Objekt; im östlichen Teile seiner Bahn dagegen verschwindet er fast ganz. Der Mond muß also hellere und dunklere Flecke haben, die sehr ungleich über seine Oberfläche verteilt sind. Besonders auffällig ist hierbei, daß diese Verteilung auch nicht etwa derart sein kann, daß die dem Saturn beständig zugekehrte Seite sich in ihrer lichtreflektierenden Kraft anders verhält als die abgewandte, wie es beim letzten Monde des Jupiter festgestellt werden konnte. Anderseits ist es vom kosmogonischen Standpunkte aus, wie wir später noch sehen werden, gar nicht anders denkbar, als daß ein Körper, der zwei topographisch sehr verschiedene Hemisphären hat, diese Verschiedenheit nur durch eine dauernde Einwirkung eines anderen Weltkörpers erlangt haben kann. Diese beständige Wirkung ging aber im vorliegenden Falle vom Saturn tatsächlich aus, der den Mond in seinem Umlaufe festhielt und ihn zwang, dem Hauptkörper beständig dieselbe Seite zuzukehren. Wäre aber z. B. die dem Saturn gegenwärtig stets zugekehrte Seite heller als die andere, oder auch umgekehrt, dunkler, so müßte offenbar Japetus während seiner beiden

Elongationen gleich hell erscheinen, dagegen, wenn er jenseits des Planeten steht, heller oder dunkler als in den Elongationen werden. Dies findet nicht statt, sondern die Hemisphären mit ungleicher Albedo sind so geordnet, daß Japetus, vom Saturn gesehen, ungefähr stets die gleiche Helligkeit zeigt. Wir kommen also zu dem Schlusse, daß irgend eine Störung die lange dem Saturn zugewandte Seite des Satelliten mindestens um eine Viertelumdrehung gegen jene ursprüngliche Lage verschoben hat, wo sie dann stehen blieb.

Gehören auch Schlußfolgerungen wie diese eigentlich nicht in den vorliegenden beschreibenden Teil der Himmelskunde, so möge doch damit gleich vorweg ein Beispiel dafür gegeben sein, welche interessanten Folgerungen sich zuweilen aus Beobachtungen ziehen lassen, die während ihres Sammelns im gegenwärtigen Teile unseres Werkes noch recht unbedeutend und wertlos erscheinen mögen.

Japetus hat eine Umlaufszeit von 79 Tagen 7 Stunden 56 Minuten, sie ist also beinahe so lang wie die des sonnennächsten Planeten Merkur (88 Tage). Tag und Nacht wechseln demnach auf diesem Mond in Zwischenräumen von beinahe 40 unserer Tage ab.

Zu diesen acht Monden, von denen Hyperion als letzter bereits 1848 entdeckt wurde, sind nun in neuerer Zeit noch zwei weitere, äußerst kleine, hinzugekommen und zwar durch die schon bei Gelegenheit des 6. und 7. Jupitermondes geschilderte photographische Methode bei einer Belichtungszeit von etwa einer Stunde. Bereits 1898 hatte Pickering mit dem Bruce-Refraktor der Harvard-Sternwarte ein sehr kleines Sternchen in sehr großer Entfernung vom Saturn auf den Platten entdeckt, das die Bewegung des Planeten mitmachte. Er hatte hiervon auch der astronomischen Welt Mitteilung gemacht; da aber von keiner anderen Seite diese Wahrnehmung bestätigt wurde, fand sie zunächst nur wenig Beachtung. Die betreffenden Untersuchungen mußten dann einige Jahre lang unterbrochen werden, da Saturn sich damals vor der Milchstraße hinbewegte, unter deren Sternfülle das gesuchte Sternchen nicht hätte herausgefunden werden können. Bis zum Jahre 1904 war aber auf so viel Platten dieses Sternchen unzweifelhaft verzeichnet, daß an seiner Zugehörigkeit wenigstens zu unserem Sonnensystem nicht mehr gezweifelt werden konnte. Freilich entstanden nun dieselben Zweifel wie bei den neuen Jupitersatelliten, ob er nicht doch sich als ein kleinerer Planet entpuppen würde, wenn man seine Bahn genügend lange verfolgt hätte. Aber aus 57 Örtern des winzigen Körpers, von denen einer sogar auf direkter Beobachtung beruht, die Barnard am 8. August 1904 mit dem 40-Zöller glückte, konnte Roß vom neuen Carnegie-Institute die Bahn des Phoebe getauften neunten Saturnmondes ableiten, die in zweierlei Hinsicht ungewöhnliches Interesse bietet. Zunächst wird durch ihn das bereits so ausgedehnte Saturnsystem um etwa das Vierfache gegen unsere bisherige Kenntnis erweitert, denn die mittlere Entfernung der Phoebe vom Mittelpunkte ihres Systems beträgt nicht weniger als 214 Saturnhalbmesser, oder mehr als 13 Millionen km, oder den vierten Teil der

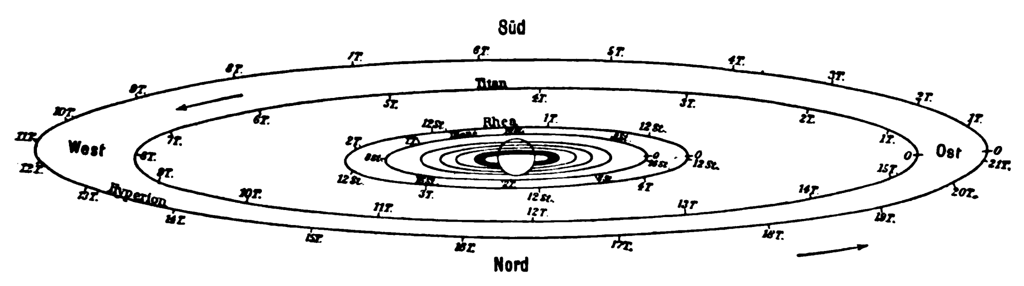


Abstände der Saturnmonde



Entfernung des Merkur von der Sonne. Diese Entdeckung eines fernen Saturnmondes, ebenso wie die der beiden neuen Jupitermonde hat uns belehrt, daß wir die Ausdehnung der sekundären Systeme innerhalb viel weiterer Grenzen zu vermuten haben, als wir es bisher annahmen, so daß es nicht überraschen würde, wenn nun auch bei den anderen Planeten oder selbst bei unserer Erde noch solche kleine Monde entdeckt würden.

Noch interessanter aber als diese große Entfernung der Phoebe ist ihre Rückläufigkeit. Alle Planeten und alle bisher betrachteten Monde bewegen sich in ein und derselben Richtung, von West nach Ost um ihre Hauptkörper, also auch sämtliche neun anderen Monde des Saturn. Nur dieser äußerste läuft in umgekehrter Richtung, von Ost nach West. Wir werden bei unseren theoretischen Betrachtungen im zweiten Hauptabschnitt erfahren, daß alle größeren Körper ein und desselben Systems notwendig in ein und derselben Richtung den Mittelpunkt des Systems umkreisen müssen, wenn die ganze Organisation bestandfähig sein soll. Hier macht ein kleiner Körper (er mag etwa 60 km messen), der keinen merklichen Einfluß auf die Bewegungen seiner Geschwister üben kann, eine inter-



Die Bahnen der sieben inneren Satelliten Saturns während der Opposition 1905, im umkehrenden Teleskop gesehen. Nach dem Nautical Almanac.

essante Ausnahme. Wir werden sehen, wie diese Ausnahme sich nicht in die lange Zeit herrschende Idee der Weltentstehung von Kant-Laplace einfügen läßt.

Nicht in dieser großen Entfernung, sondern eher in der großen Lücke zwischen Titan und Japetus, die durch den kleinen Hyperion nur mangelhaft ausgefüllt ist, hatte man noch neue Saturnsatelliten vermutet, und in der Tat fand Pickering bei der Suche nach Eindrücken der Phoebe auf seinen Platten wiederholt noch ein anderes noch winzigeres Lichtpünktchen, von 17,5. Größe, gegen die Durchschnittsgröße von 16,5 bei Phoebe (die übrigens Lichtschwankungen aufweist, welche die Gleichheit ihrer Umdrehungs- und Umlaufsperiode wahrscheinlich machen), und zwar zuerst auf einer Aufnahme vom 28. April 1905, das in einer nur wenig von der des Hyperion verschiedenen Bahn Saturn umkreist. Nach Pickering ist die mittlere Entfernung dieses zehnten Saturnmondes in der Reihenfolge der Entdeckungen, des siebenten in der der Entfernungen, von seinem Zentrum 23,7 Saturnhalbmesser (1,457,000 km) gegen 24,5 beim Hyperion. Der neue Mond wurde Themis genannt. Ihre Bahn erweist sich wie die der Phoebe als sehr exzentrisch, das heißt stark von einer Kreisbahn abweichend, so daß der Satellit sich gelegentlich auch weiter vom Saturn entfernen kann als Hyperion. Beide Bahnen durchkreuzen sich so, daß die kleinen Körper sich bis auf 21,000 km nahe kommen können, das ist zwanzigmal weniger, als der Mond von uns absteht. Hier sind Verhältnisse, wie wir sie auch bei den kleinen Planeten finden, deren Rolle in dem sekundären System diese kleinen Monde vertreten. Themis

bewegt sich in 20,85 Tagen um Saturn (gegen 21,28 bei Hyperion). Nachdem man nun diesen zweiten Körper hier gefunden hat, ist zu vermuten, daß man noch mehrere andere von derselben Kleinheit in dieser Lücke entdecken wird.

Wir gaben eine Darstellung des Saturnsystems in richtigen Verhältnissen, und zwar zunächst die Entfernungen aller zehn Satelliten und dann die Bahnen der sieben inneren Satelliten, wie sie sich 1905 für den irdischen Beschauer auf dem Himmelsgrund projizierten, mit Angaben über ihre Bewegungen innerhalb der beigefügten Zeiten von der östlichen Elongation gerechnet. Wir erkennen daraus zunächst sehr deutlich die noch vorhandene Lücke zwischen Rhea und Titan und dann den ungeheuern Raum, der Japetus von Phoebe trennt. Hier werden sicher noch andere Satelliten kreisen.

Seltsam mutet es uns heute an, wenn wir von den alten Astronomen Indiens Saturn mit dem Zeichen eines Auges belegt sehen, da das ihm beinahe die Gestalt des ringumkränzten Planeten gibt, die Galilei in seinen unvollkommenen Fernrohren sah. Man hat diesen Umstand zu den übrigen Argumenten für das einstmalige Vorhandensein eines hochentwickelten Volkes gefügt, das bis auf die letzten Spuren in vorhistorischer Zeit im Indischen Ozean versunken sei. Mehr Wahrscheinlichkeit spricht jedoch für ein merkwürdiges Zusammentreffen: man charakterisierte den fernsten Planeten als das Auge der Unendlichkeit, für die man auch noch ein anderes, ganz ähnlich aussehendes Symbol erfunden hatte, die sich in den Schwanz beißende Schlange, welche die Weltkugel umgibt.

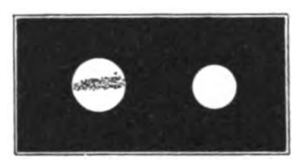
---

8. Uranus.

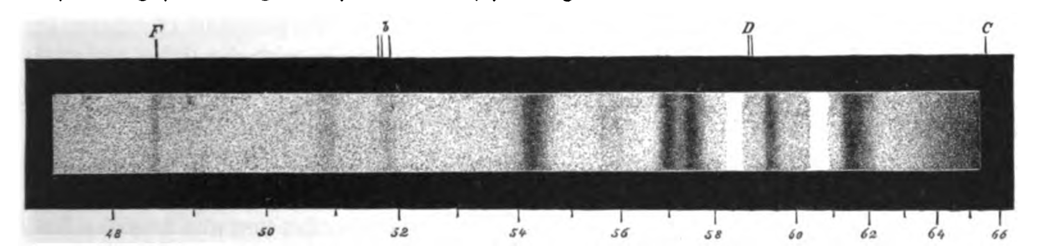
Uranus ist im Gegensatz zu den seit Urzeiten als Sterne von eigentümlicher Art bekannten übrigen großen Planeten der erste zufällig entdeckte Planet. Seine Entdeckungsgeschichte hat einige Ähnlichkeit mit der der ersten kleinen Planeten. Herschel, damals noch ein fast gänzlich unbekannter Liebhaber der Sternkunde, der sich mit eigener Hand in seinen Mußestunden ein kleines Spiegelteleskop verfertigt hatte, traf am 13. März 1781 zufällig auf einen verhältnismäßig hellen Stern, der, wenngleich sehr langsam, seinen Ort unter den Fixsternen änderte. Er und alle übrigen Astronomen konnten damals natürlich auf keinen anderen Gedanken kommen, als daß man einen neuen Kometen entdeckt habe, wie es bekanntlich auch bei Ceres der Fall war. Wie dort Gauß, so war es hier der große Laplace, der nach einiger Verfolgung der Bewegungen des Neulings nachwies, daß er nicht in einer Kometenbahn laufe, die, von der Unendlichkeit kommend, einen auf ihrer Spur einherziehenden Körper auf Nimmerwiedersehen in die Unendlichkeit entführt, sondern daß man die Tatsachen der Beobachtung nur durch die Annahme erklären könne, der neue Himmelskörper bewege sich in nahezu kreisförmiger Bahn, habe also von jeher dem Sonnensystem angehört. Dies bestätigte sich in der Tat, und man fand sogar eine Anzahl älterer Beobachtungen des Planeten vor, die seinen wechselnden Ort unter den Fixsternen bis in das Jahr 1690 zurück festzulegen erlaubten.

Uranus ist unter günstigen Umständen schon dem bloßen Auge sichtbar; einige Südsee-Insulanerstämme sollen ihn als Wandelstern längst gekannt haben. Im Fernrohr erscheint er als kleines Scheibchen von etwa 4″ Durchmesser; dieser aber kann sich während des synodischen Umlaufes des Planeten, der 4 Tage länger ist als ein Jahr, nur

um 0,7 Bogensekunden verändern, je nachdem Uranus in Opposition oder in Konjunktion mit der Sonne ist. Aus dieser geringen Größenänderung kann man ohne weiteres auf den großen Abstand schließen, der den Planeten von uns trennt. Tatsächlich wurde durch seine Entdeckung die Grenze des Sonnensystems, das bis zum Saturn 9,5 Sonnenentfernungen umfaßte, um mehr als das Doppelte erweitert, denn Uranus befindet sich über 19 Sonnenweiten oder 2851 Millionen km vom Zentrum des Systems entfernt. Aus den Messungen von Barnard (4,15") folgt der Äquatorialdurchmesser zu 57,600 km, das ist etwa das Viereinhalbfache des Erddurchmessers. Diese Angaben können jedoch wegen des kleinen scheinbaren Durchmessers und der großen Entfernung leicht um einige Tausend Kilometer ungenau sein; der zehnte Teil einer Bogensekunde faßt in der Entfernung des Uranus etwa 1500 km. Uranus ist also zwar bedeutend kleiner als Saturn und Jupiter, doch immer noch beträchtlich größer als die inneren Planeten. Barnard fand den Polardurchmesser merklich kleiner als den des Äquators, nämlich zu 54,600 km. Der Planet wäre also stark abgeplattet. Doch können Beobachtungsfehler das Resultat wesentlich ändern. See, der um dieselbe Zeit wie Barnard den Uranus mit dem 26-Zöller in Washington maß, fand keine Spur einer Abplattung. Wir werden sogleich erfahren, daß man den eigentlichen Polardurchmesser des Planeten wahrscheinlich überhaupt nicht sehen kann, so daß eine wirklich vorhandene Abplattung für uns gar nicht in die Erscheinung treten würde.



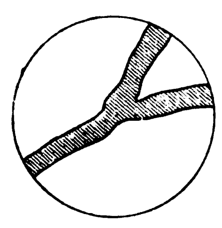
Scheinbare Größe des Uranus in seinen extremen Stellungen.



Spektrum des Uranus, photographiert von Keeler auf der Lick-Sternwarte. Vgl. Text, S. 189.

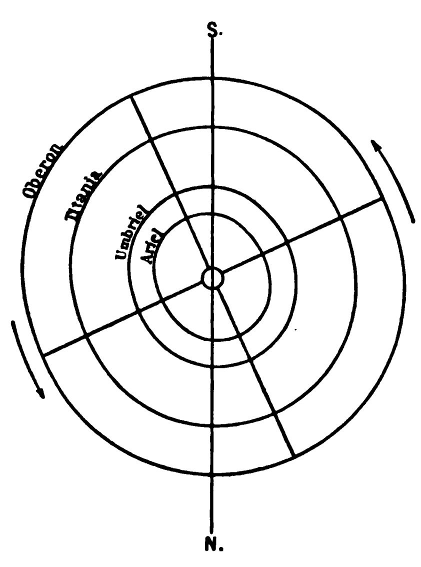
Aber nicht nur durch seine Stellung und Größe gehört Uranus unter die Gruppe der äußeren Planeten, sondern er hat auch, soweit dies bei seiner Entfernung noch festzustellen ist, alle anderen Eigenschaften, die Jupiter und Saturn wesentlich von den erdverwandten inneren Planeten unterscheiden. Zunächst zeigen Albedo und Spektrum wieder eine sehr dichte Atmosphäre an. Die relative Albedo des Uranus ist fast genau so groß wie die des Jupiter und 2,73mal größer als die relative Marshelligkeit. Daß diese bedeutende Reflektionsfähigkeit auch hier wie bei Jupiter und Saturn durch dichte Wolkenschleier hervorgebracht wird, zeigt das oben abgebildete Spektrum, das auf der Lick-Sternwarte von Keeler photographiert worden ist. Obgleich Uranus wegen seiner großen Entfernung bereits so lichtschwach ist, daß die Fraunhoferschen Linien des Sonnenspektrums ganz oder doch fast ganz verschwinden, treten doch sehr deutliche breite Banden auf, die ohne Zweifel durch die Absorption der Planetenumhüllung entstanden sind. Am stärksten zeigt sich auch hier wieder das im Spektrum der irdischen Atmosphäre nicht vorkommende Band bei 618 $\mu\mu$, das für die Atmosphären von Jupiter und Saturn charakteristisch ist, also von einer ähnlichen chemischen Beschaffenheit

der Atmosphären dieser Himmelskörper spricht, zu denen in dieser Hinsicht auch noch der letzte der äußeren Planeten, Neptun, tritt. Aber das Uranusspektrum zeigt außerdem eine Anzahl von kräftig hervortretenden Absorptionsstreifen, die bei den beiden größeren Gliedern dieser Planetengruppe fehlen. Die Uranusatmosphäre hat also neben den mit jenen Atmosphären gemeinsamen noch ihre besonderen Eigenschaften. Welcher Art aber die Gasgemenge sind, die diese Absorptionen hervorrufen, läßt sich vorläufig nicht sagen. Es bedarf zur Lösung solcher Fragen weiterer sorgfältigster Studien im chemischen und physikalischen Laboratorium, um uns darüber Aufschluß zu geben, inwieweit sich die Absorptionsspektren von Gasgemengen durch erhebliche Druck- und Temperaturveränderungen umgestalten.



Uranus.
Nach E. S. Holden.

Bei der Kleinheit des Planetenscheibchens sind Einzelheiten auf seiner Oberfläche so gut wie gar nicht zu sehen. Wenn man jedoch einmal einiger Spuren habhaft wurde, so trat ein streifiger Charakter wie bei seinen beiden großen Verwandten auf. Die obenstehende Zeichnung gibt sehr übertrieben einen verzweigten Streifen wieder, den Holden mit dem Lick-Refraktor am 27. April 1891 gesehen zu haben glaubt. Eine ähnliche Gestaltung ist später von demselben Astronomen wieder gesehen worden. Es schien zudem, daß sich auch Uranus sehr schnell um seine Achse drehe. Namentlich tritt Brenner für diese Ansicht ein.



Das System der Uranusmonde. Nach dem Nautical Almanac.

Wo wir eine Abplattung oder doch die Lage des Äquators bei einem Planeten erkannten, der von Satelliten umkreist wird, da liefen diese sehr nahe in der Ebene des Äquators. Wäre das Gleiche bei Uranus der Fall, so müßte der kürzeste Durchmesser der Planetenscheibe nicht, wie bei allen übrigen, in der Richtung Nord-Süd, sondern gegen uns her gerichtet sein, der von uns gesehene Umkreis des Scheibchens wäre nahezu der des Äquators und könnte deshalb kaum eine Abplattung zeigen. Auch eine spektroskopische Prüfung nach dem Dopplerschen Prinzip (S. 61) führte Deslandres zu dem Schluß, daß sich Uranus von Osten nach Westen bewegt, umgekehrt wie die übrigen Planeten. Jedenfalls bewegen sich seine vier Monde so, daß wir nahezu senkrecht auf ihre Ebenen schauen, nicht schräg, wie bei denen der anderen Trabantensysteme. Unsere Abbildung zeigt diese Bahnen, wie sie sich für uns auf die Himmelsdecke projizieren. Alle vier Monde bewegen sich außerdem, wie der letzte zehnte Saturnmond, von Osten nach Westen um den Planeten, sie sind „rückläufig". Hierin erkennen wir ein weiteres Argument dafür, daß an den Grenzen des Planetensystems einstmals unbekannte Störungen oder überhaupt andere Verhältnisse gewaltet haben als in unseren Regionen des Sonnenreiches.

Die vier Uranusmonde heißen in der Reihenfolge ihrer Entfernung vom Hauptkörper: Ariel, Umbriel, Titania und Oberon. Ihre Abstände in Halbmessern des

Hauptplaneten, bezw. in Kilometern (bei Zugrundelegung der Barnardschen Ausmessung des Uranus) sind nach Newcomb in derselben Reihenfolge 7,0 = 202,500 km, 9,9 = 285,000 km, 16,1 = 464,000 km, 21,5 = 620,000 km. Die Umlaufszeiten sind 2 Tage 12 Stunden 29 Minuten, 4 Tage 3 Stunden 28 Minuten, 8 Tage 16 Stunden 56 Minuten, 13 Tage 11 Stunden 7 Minuten. Ariel und Umbriel gehören zu den schwierigsten Objekten der astronomischen Beobachtungskunst. Sie sind mit dem Riesenreflektor, den seinerzeit Lassell unter dem wundervollen Himmel Maltas aufgestellt hatte, am 24. Oktober 1851 entdeckt worden. Selbst photometrische Messungen konnten an ihnen bisher nicht vorgenommen werden; doch müssen wir aus dem Umstande, daß sie aus dieser Entfernung überhaupt noch sichtbar sind, schließen, daß wir es hier keineswegs mit wirklich sehr kleinen Himmelswesen zu tun haben. Sie werden vermutlich nicht wesentlich kleiner sein als Titania und Oberon, die am 11. Januar 1787 von Herschel zuerst gesehen wurden, und deren Größe Pickering unter der Voraussetzung einer mit dem Hauptplaneten übereinstimmenden Albedo zu etwa 900 km geschätzt hat. Oberon ist vielleicht ein wenig kleiner als Titania.

---

9. Neptun.

Die Entdeckungsgeschichte des Neptun ist einer der größten Triumphe der astronomischen Theorie. Aus den Bewegungen des kaum entdeckten Uranus, die sich dem alle himmlischen Bewegungen regelnden einfachen Gravitationsgesetze scheinbar nicht fügen wollten, schloß man auf das Vorhandensein eines bis dahin noch unbekannten Körpers, dessen Wirkung diese Störungen verursachen müsse. Zu erörtern, wie dies möglich war, bleibt einer anderen Stelle dieses Werkes vorbehalten. Es ist hier nur anzuführen, daß Leverrier in Paris, der die betreffenden scharfsinnigen Rechnungen ausgeführt hatte, in einem Schreiben an den damaligen Direktor der königlichen Sternwarte zu Berlin, Encke, den Ort angab, wo man den vermuteten Störenfried am Himmel aufzusuchen habe. Der neue Planet konnte nur klein sein und etwa einem Sterne neunter Größe gleichen, deren es Hunderttausende am Himmel gibt. Diese ließen sich aber zunächst gar nicht von dem Planeten unterscheiden, da er nur eine sehr geringe eigene Bewegung haben konnte. Wegen solcher Schwierigkeit waren die großen Berliner Akademischen Sternkarten, die noch Sterne bis zu dieser Größenklasse verzeichnet hatten, und deren betreffender Teil gerade fertig gestellt war, von großem Werte, weil man mit ihrer Hilfe durch Vergleichung sehr leicht einen fremden Körper zu erkennen vermochte. Dies war der Grund, weshalb sich der Pariser Astronom gerade nach Berlin gewandt hatte, und zwar, wie sich sehr bald herausstellte, mit dem besten Erfolge, denn noch am selben Abend des Tages, an dem der denkwürdige Brief mit der Bitte um Nachforschung eintraf, am 23. September 1846, sah der mit der Aufsuchung beauftragte Assistent Galle, nachmals Direktor der Sternwarte zu Breslau und jetzt Senior der lebenden Astronomen, einen verdächtigen Stern in der Gegend der angegebenen Stelle, der auf der Karte nicht verzeichnet war. Die Verfolgung ergab, daß es ein bewegliches Gestirn, und zwar mit Sicherheit das gesuchte war, dessen Ort am Himmel durch Rechnung am Schreibtisch aus einem Gewühl von Zahlen bis auf weniger als einen Grad genau herausgefunden worden war.



Ebenso wie bei Uranus wurde später gefunden, daß Neptun schon früher, von Lalande 1795, als Fixstern beobachtet worden war.

Der scheinbare Durchmesser Neptuns von etwa $2\frac{1}{2}$, nach Barnard genauer 2,433 Bogensekunden verändert sich während des synodischen Umlaufes nicht mehr merklich; theoretisch ist ein Unterschied von 0,2″ zwischen Opposition und Konjunktion notwendig. Der synodische Umlauf ist nur um 2 Tage länger als ein Jahr. Die Entfernung des Neptun von der Sonne ist zu 30 Erdbahnradien oder 4467 Millionen km gefunden worden, woraus sich der wahre Durchmesser gleich 52,900 km ergibt. Er ist also etwas kleiner als der Uranus; doch muß bemerkt werden, daß die geringen, von den verschiedenen Messungen der scheinbaren Größe der Planetenscheibe zurückgelassenen Unterschiede wohl immer noch groß genug sind, um die wahre Ausdehnung des Neptun der des Uranus gleich oder sogar den letzteren zu dem kleinsten der äußeren Planeten zu machen. An diesen letzten Grenzen des Sonnenreiches fehlen uns die Mittel genauerer, direkter Erkenntnis der Größenverhältnisse. Jedenfalls aber übertrifft Neptun in seiner Längsausdehnung die Erde etwa um das Vierfache.

Was sonst über die physische Beschaffenheit des Neptun zu sagen wäre, kommt fast überall auf eine Wiederholung dessen heraus, was schon über Uranus bekannt geworden ist. Die Albedo ist nahezu dieselbe, und das Spektrum, soweit es noch zu erkennen ist, stimmt gleichfalls mit dem des Uranus überein. Diese Tatsache ist bemerkenswert, denn sie zeigt, daß alle äußeren Planeten einen gemeinsamen, mit dem der Erde und der anderen inneren Planeten nicht übereinstimmenden Charakter haben, der durch das Spektralband bei 618 $\mu\mu$ ausgedrückt wird, daß aber weiter die beiden äußersten Glieder des Sonnensystems noch andere, allen übrigen fehlende Bestandteile in ihren Atmosphären haben. Wir haben hier Wahrnehmungen vor uns, die auf die Entwickelungsgeschichte der Gestirne ein interessantes Licht werfen. Aus den spektroskopischen Beobachtungen scheint hervorzugehen, daß zwar alle Planeten ihr Gemeinsames haben, daß dagegen in der Reihenfolge ihrer Stellung zur Sonne stufenweise Stoffe oder Eigenschaften bei ihrer Bildung ausgeschlossen worden sind oder doch nicht an der Zusammensetzung der Atmosphären sich beteiligt haben. Jupiter und Saturn fehlen offenbar Dinge, die Uranus und wahrscheinlich auch Neptun besitzen; der Erde und ihren näher verwandten inneren Planeten fehlt wiederum die Eigenschaft, die das Spektralband bei 618 $\mu\mu$ hervorbringt.

Oberflächendetails sind natürlich auf Neptun noch weniger zu sehen als auf Uranus. Doch sah See die Scheibe einmal bei ganz besonders günstigem Luftzustande „gesprenkelt", was er einem streifigen Zustande zuschreibt. Es will den Beobachtern erscheinen, als ob die Ränder seiner Planetenscheibe nicht scharf begrenzt seien. Man hat deshalb vermutet, der in jenen Fernen von den Wohltaten der Sonne so sehr vernachlässigte Planet habe sich überhaupt noch nicht zu einem festen Körper verdichtet, sondern sei ein nebliger Gasball geblieben, wie es wahrscheinlich alle Planeten einmal in ihrem Urzustande waren. Das ist wohl möglich, aber die Verwaschenheit der Ränder läßt sich auch, wie bei Jupiter, durch eine hohe Atmosphäre ganz gut erklären, die am Rande der Planetenscheibe so viel Licht absorbiert, daß der Planet sich für uns allmählich nebelhaft in den Weltenraum zu verlieren scheint.

Nur ein Mond umkreist, soviel wir sicher wissen, den langsam wandelnden Planeten. Da dieser Mond ziemlich groß ist, ist er nicht so schwer zu sehen wie die Uranusmonde.

Roberts gelang es sogar, in 15 Minuten ein photographisches Bild des Neptun mit seinem Monde festzuhalten. Immerhin ist das Sternchen 14. Größe für die Beobachtung kein leichtes Objekt, wenngleich aus dieser minimalen Lichtstärke in Verbindung mit der großen Entfernung hervorgeht, daß der Neptuntrabant ungefähr die Größe des Erdmondes erreicht. Von seinem Planeten, den er in 5 Tagen 21 Stunden 3 Minuten umkreist, ist er 14—15 Halbmesser desselben entfernt, also etwas mehr, als die Entfernung unseres Mondes von der Erde ausmacht. Auch bei diesem Trabanten bemerken wir eine ähnliche Anomalie der Bahnlage wie bei den Uranussatelliten; ja sie weist hier auf eine noch größere Störung hin. Wir sehen seine Bahn zwar wieder ziemlich stark geneigt, doch durchwandert er sie ebenso wie die Satelliten des Uranus von Osten nach Westen. Vergleichsweise ist das System des Uranus um etwas mehr als einen rechten Winkel gegen die Hauptebene aller Bewegungen im Sonnensystem gedreht worden, die Bahn des Neptunmondes aber um mehr als 140 Grad.

Nach Analogie mit den übrigen großen Planeten ist es wahrscheinlich, daß Neptun weitere Monde besitzt, die wir nur wegen ihrer großen Entfernung von uns nicht mehr wahrnehmen können. Ein verdächtiges Objekt, das Schäberle mit dem 36zölligen Refraktor auf Mount Hamilton am 24. September 1892 unter außergewöhnlich günstigen atmosphärischen Verhältnissen zu sehen glaubte, hat sich als zweiter Neptunsatellit nicht erweisen lassen.

Ehe wir, Neptun verlassend, die Grenzen des Planetenreiches überschreiten und uns jenen unsteten Wanderern, Kometen genannt, zuwenden, die gewissermaßen die Verbindung des Sonnensystems mit verwandten Vereinigungen im Universum herstellen, fassen wir in schnellem Überblicke die gemeinsamen Züge zusammen, welche die bisher betrachteten Himmelskörper zu besonderen Gruppen ordnen.

Unser Mond scheint durch seinen Luft- und Wassermangel eine Sonderstellung einzunehmen, denn die Satelliten anderer Planeten haben, soweit sie überhaupt in dieser Hinsicht untersuchungsfähig und ihm an Größe vergleichbar sind, Spuren einer Atmosphäre gezeigt. Allenfalls können wir bei Merkur die Abwesenheit einer Lufthülle vermuten. Bei allen anderen Planeten ist aber das Vorhandensein von Luft, wiewohl nicht immer von der gleichen Zusammensetzung wie die unsrige, kaum zweifelhaft. Unser Mond hat jedoch mit vielen, vielleicht mit allen Satelliten der anderen Systeme die Gleichheit seiner Revolutionszeit mit seinem Umlaufe gemein, so daß alle diese Trabanten ihrem Zentralkörper beständig dieselbe Seite zukehren. Die gleiche Eigenschaft haben möglicherweise Merkur und Venus in bezug auf die Sonne. Von der Erde ab besitzen alle Planeten Monde, und zwar in zunehmender Zahl bis zu Saturn; die dann wieder eintretende Abnahme ist vermutlich nur eine scheinbare, infolge unseres Unvermögens, in so großer Entfernung noch Körper von den Dimensionen der kleineren Monde der übrigen Planeten zu sehen. Erde und Mond haben viele topographische Züge ihrer festen Oberfläche gemeinsam, obwohl infolge der Nachbarschaft, die uns ein sehr eingehendes Studium der Gebirgswelt des Mondes gestattet, auch viele verschiedenartige Züge dieser immerhin fremden Schöpfung auffallen mußten. Erde und Mars haben neben der beinahe gleichen Tageslänge eine Fülle von meteorologischen Erscheinungen gemein, die sich in der Hauptsache als ein ausgeprägter Wechsel der Jahreszeiten darstellen. Gewisse Grundzüge der Luftzirkulation, die sich durch die streifige Natur der Oberflächen von Jupiter und Saturn

verraten, und andere Einzelheiten der Wolkenformationen, namentlich auf dem ersteren Planeten, erklären sich aus erdverwandten Vorgängen. Der rote Fleck auf Jupiter scheint vulkanische Vorgänge anzudeuten, die auch noch bei uns, wenngleich in minimalem Maßstabe, vorkommen. Die vier äußeren Planeten sind verhältnismäßig groß, reich an Satelliten (mit der erklärten Einschränkung bei Neptun), besitzen eine sehr geschwinde Rotation, soweit wir diese überhaupt noch wahrnehmen können, und daraus folgende starke Abplattung und dieselben dichten, von der unsrigen verschiedenen Atmosphären. In dieser Gruppe aber bilden einerseits Jupiter und Saturn, anderseits Uranus und Neptun Untergruppen, die sich namentlich durch die Verschiedenheit der Lufthüllen und durch die Bahnen ihrer Satelliten unterscheiden; die letzteren sind bei den beiden äußersten Planeten und bei dem neuentdeckten äußersten Monde des Saturn, Phoebe, anormal. Saturn nimmt durch seinen Ring nur scheinbar eine Sonderstellung im Planetensystem ein, denn in Wirklichkeit besitzt die Sonne selbst einen solchen Ring in der zahlreichen Gruppe der kleinen Planeten, die ganz und gar den Charakter des Schleierringes bei Saturn haben. Wir werden überhaupt im Verfolg unserer Erforschung des Himmelsgewölbes erkennen, daß die Ringform keine seltene Erscheinung im Weltgebäude ist.

Nehmen wir zu diesen physischen Eigenschaften noch die, welche wir später beim Studium der himmlischen Bewegungen näher kennen lernen werden (vgl. Kapitel 10 des zweiten Hauptteils), und die namentlich in der gleichen Richtung des Umlaufes aller Planeten um die Sonne und ihrer Umdrehung um ihre Achse besteht, so können wir keinen Augenblick mehr daran zweifeln, daß dieses schöne Ganze auch einen gemeinsamen Ursprung, eine gemeinsame Entwickelung, ein gemeinsames Ziel haben muß.

10. Die Kometen.

Meist unverhofft erscheint zuweilen am nächtlichen Himmel ein langgeschweiftes Gestirn, ganz verschieden von allem, was man sonst am stillen Firmamente wahrzunehmen pflegt. Schnell wechselt es seine Gestalt und Größe, und sein Weg unter den festen Gestirnen scheint dem oberflächlichen Blick ohne Gesetz und Regel. Langsamer, als es kam, pflegt es wieder zu verschwinden; geheimnisvoll, wie es erschien. Das ganze Wesen des Phänomens ist so ungewöhnlich, so abweichend von der heiligen Ruhe, Gleichartigkeit und Gesetzlichkeit der übrigen himmlischen Erscheinungen, daß es wohl begreiflich ist, daß man die **Kometen**, **Schweif-** oder **Haarsterne** bis vor zweiundeinhalb Jahrhunderten überhaupt nicht zu den Himmelskörpern zählte, sondern ihnen sublunaren Ursprung zuschrieb. Es schien unmöglich, daß so ungeheure Gestirne, die oft den ganzen Himmel mit einer leuchtenden Brücke überspannten, unter den übrigen, selbst mit Einschluß von Sonne und Mond, winzigen Himmelswesen wandern könnten, ohne Unordnung in das Getriebe der Weltkörper zu bringen. Waren dagegen die Kometen entzündete Dünste, die aus Erdhöhlen in unsere Atmosphäre aufstiegen, wie es Aristoteles glaubte, so konnten sie allem Anschein nach wohl solche Ausdehnung gewinnen, ohne für die Gestirne gefahrbringend zu werden, während die Menschen sie unter dieser Voraussetzung nur um so mehr zu fürchten hatten.

Der Kometenaberglaube, ganz besonders aber die Meinung, daß das Erscheinen dieser Gestirne mit der Verbreitung epidemischer Krankheiten in Zusammenhang stehen müsse,

hatte so lange eine gewisse Berechtigung, als nicht der unumstößliche Nachweis ihrer kosmischen Natur gelang. Wir tun gut, nicht ohne weiteres leichtfertig über all die anderen Meinungen von hundertfachen Übeln zu lächeln, die man den Schweifsternen ehemals andichtete. Von einem eigentlichen Kometenaberglauben dürfte man nur in unserem erleuchteten Jahrhundert reden, weil man heute erst in der Lage ist, sichere Überzeugungen von diesen Himmelskörpern zu gewinnen, während bis um die Mitte des 17. Jahrhunderts sie so sehr in allen Stücken Rätsel geblieben waren, daß man geradezu alles von ihnen erwarten konnte. Es war deshalb zu begreifen, daß die gesamte Menschheit in nicht geringe Aufregung geriet, wenn solch ein schrecklich anzusehendes Zeichen am Himmelsgewölbe erschien, und daß infolge dieser ungeheuern Erregung ganzer Völker wirklich manches Unglück geschah, vielleicht gar Krieg entbrannte, der bei ruhigerer Disposition der Völker oder ihrer Fürsten wohl vermieden worden wäre. In diesem Sinne brachten die Kometen also tatsächlich Unheil, und wir verstehen die folgenden Betrachtungen des Baselers Peter Megerlin, die er in seiner damals sehr verbreiteten Schrift „Astrologische Mutmaßungen von der Bedeutung des jüngst entstandenen Kometen" 1665 aussprach:

„Nun ist es an dem, daß ich meine besonderen speculationes und gedanken von der bedeutung dieses noch jetzt stehenden Kometen kurzlich eröffne; Solche aber, bedunckt mich, müsse aus der Harmonia Naturae oder Uebereinstimmung der himmlischen und jrrdischen Geschöpffen hergenommen werden, da man von vihlen Seculis hero beobachtet, wann etwas newes, als Cometen und andere dergleichen phaenomena am Himmel entstanden, daß auch die Natura sublunaris (die Natur unter dem Monde) mit ungewöhnlichen Zufällen in ihren ordinarj lauff turbieret und verstört worden seyn; Es sollen aber solche zufäll nicht so fast an dem Himmel, als auf der Erden selbsten gesucht werden; denn gleich wie bey einer Mahlzeit ein starker trunk bey einem das Podagra, beym anderen das Griesz, beym dritten das Grimmen, beym Vierdten das Haubt-, Augen-, oder Zahn-weh kan erwecken, nicht daß der Wein an ihm selbst so schädlich, als welcher den gesunden kein hinderung bringt, vihlmehr aber erfrischt und auffmuntert; Sondern ihr schwache Natur einen so starken trib nicht erleiden mag: Also auch wird die Elementarische natur durch entstehung eines Cometen dermaßen stark bewegt oder (wie man allhie pflegt zu reden) ergelstert, daß sie hernach in solche ungewohnliche zufäll außbricht, nach dem an einem oder anderm Ort die disposition oder zuneigung zuvor vorhanden war: Wann man nun von einem Cometen judiciren solle, ob er übermäßig Hitz oder Kälte, Dürre oder Gewässer, Wind oder Erdbidem, Pest oder andere Seuchen, Item ob er eußer- oder jnnerliche Krieg, Auffruhr, Regierungs- oder Religions Enderung, und zwar in welchem Lande er solches bedeutte, so wird zu einem guten Prognosticanten nicht nur ein tieffsinniger Physikus oder Natur-kundiger, sondern auch ein weitaussehender Politicus oder Welt-weiser Mann erfordert, welcher den jetzigen zustand underschiedlicher Länder eigentlich wisse zu erkennen."

Lassen wir auch gleich eine Anwendung folgen, die der gelehrte „Physikus und Politikus" von seinen Grundsätzen über das Weissagen aus den Kometenerscheinungen macht:

„Als Anno 1652 in eyner Löblichen Eydgenossenschafft die Landleuth wegen einiger geringen beschwerden einen großen unwillen gegen ihren Oberkeiten von sich verspüren ließen, da entstund ein Comet .... als hab ich den des folgenden Jahrs darauff entstandenen Bauern-Krieg darauß prognosticirt, maßen solches vihlen und theils vornehmen Persohnen alhie bekannt: Es würde aber diese empörung, wann der Comet nicht were darzu kommen, villeicht bis zu den Waffen nicht ausgebrochen, sondern auf ein ringere manier gestillt worden sein. Darbey zu notieren, daß dieser Comet zu Zürich wegen beständig trüben Wetters niemahle hat können gesehen werden ....: Also ist auch ihre Baurschafft Anno 1653 still gesessen."

Man sieht hier deutlich, wie der gelehrte Wahrsager fast ausschließlich etwas auf den Einfluß gibt, den der bloße Anblick, gewissermaßen durch Autosuggestion, hervorbrachte. Es ist dies jedenfalls ein großer Fortschritt gegenüber den rein mystischen Anschauungen, welche die meisten seiner Vorgänger über den Einfluß der Kometen verbreiteten und nährten.

Was soll man beispielsweise dazu sagen, wenn dem Kometen von 942 ein „träffentlicher sterbend und schelmentod an vych und thieren" zugeschrieben wurde, oder gar der von 1680 schuld daran sein sollte, daß in Rom eine „unbefleckte" Henne ein Ei legte, auf dem der Komet abgebildet war, womit sich das „Journal des Savans" damals eingehend beschäftigte? Können wir solche Verirrungen immer noch einigermaßen mit den Zeiten entschuldigen, in denen sie auftraten, und die entscheidende Aufklärungen über die Natur dieser bedrohlich aussehenden Himmelswesen nicht zu geben vermochten, so ist es beschämend, daß noch um die Mitte des 19. Jahrhunderts Schriften erscheinen konnten, in denen die Kometen als Krankheitserreger oder Erzeuger besonders heißer Sommer, bezw. kalter Winter hingestellt wurden. Ja, wir können angesichts der ungemein großen Hartnäckigkeit, mit der sich der Kometenaberglaube durch die Jahrhunderte erhalten hat, heute noch nicht sicher sein, daß beim Erscheinen eines großen Kometen nicht ähnliche Meinungen abermals große Volksschichten in Angst versetzen. Als 1892 der kleine Komet Holmes erschien, wobei durch eigentümliche Verhältnisse die erste Rechnung fälschlich ergab, daß er sich schnurstracks auf uns zu bewege, mögen doch manche nicht ganz unerfahrene Leute beunruhigt der Frage gegenübergestanden haben, ob die „graue Theorie" der Astronomen, bei dem erwarteten Zusammenstoß in die Praxis übersetzt, sich auch bewähren würde.

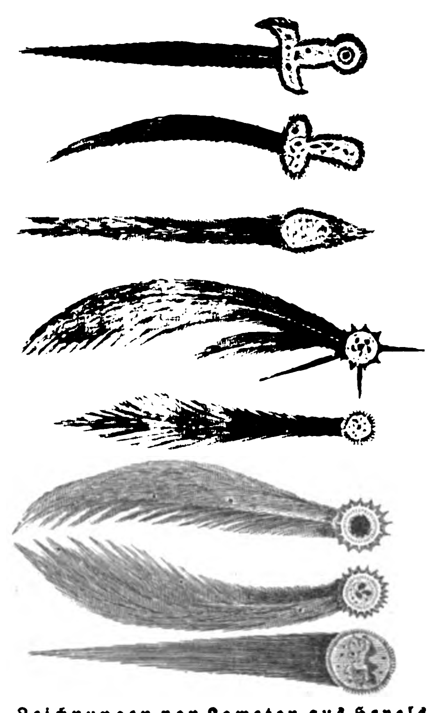
Übrigens ist es bekannt, daß die Kometen nicht immer als Unglücksboten galten; sie bescheren uns auch einen besonders guten Wein, wie 1811 und 1882. Der große Komet von 1811 half auch den Goldgräbern in Mexiko nach ihrer Überzeugung beim Auffinden einer berühmten Goldmine, und der von 1819 brachte eine gediegene Silberader ans Licht.

Klärende und beruhigende Ansichten über die Kometen konnten erst gewonnen werden, nachdem die Beobachtungskunst genügend vorgeschritten war, um den scheinbaren Lauf dieser Gestirne über die Himmelsdecke festzustellen, und nachdem die Theorie sich entsprechend vervollkommnet hatte, die aus diesem Schein das Wahre abzuleiten imstande ist. Endlich mußte auch eine große Anzahl physikalischer und astronomischer Tatsachen, die zunächst gar nichts mit den Kometen zu tun zu haben schienen, gesammelt werden, um das große Rätsel der Schweifsterne zu lösen. Gleichwohl gab es schon früh einige klar sehende Geister, die sich, der allgemeinen Meinung entgegen, sehr entschieden für die kosmische Natur der Kometen ausgesprochen hatten. So bemerkte bereits Seneca, daß die Kometen an der täglichen Bewegung der Fixsterne teilnehmen und deshalb nicht irdischen Ursprungs sein könnten, und in merkwürdig prophetischer Weise sang der noch vor Seneca lebende römische Dichter Manilius:

> Oder es schuf die Natur sie zugleich mit den anderen Sternen,
> Die vom Gewölbe herab uns schimmern mit ewigem Lichte;
> Aber es ziehet mit mächtiger Glut sie Helios zu sich,
> Der in die eigenen Strahlen sie bald einsenket, und bald sie
> Wieder entläßt gleichwie Merkurius oder die Venus.

Diese vereinzelten Meinungen konnten erst kräftigere Stützen erhalten, seit man anfing, nach der langen geistigen, dem Sturze des Römerreiches folgenden Nacht sich wieder lebhafter für die Auffindung der Gesetzmäßigkeit himmlischer Bewegungen zu interessieren. Nachdem 1472 Regiomontanus die ersten Messungen des Ortes eines Kometen am Himmel vorgenommen hatte und nach Erfindung des Fernrohres namentlich Hevel in Danzig solche Beobachtungen verfeinern konnte, war es möglich, an das mathematisch schwierige Problem zu gehen, den Weg der Kometen im Raume, beziehungsweise um die Sonne zu ermitteln und dann auch ihre jeweilige Lage zur Erde anzugeben, wodurch allein sich die

Frage, ob sie sublunarer oder kosmischer Natur seien, entscheiden ließ. Der ebengenannte gelehrte Danziger Ratsherr hatte zwar schon die bestimmte Überzeugung ausgesprochen, daß die Kometen feste Bahnen um die Sonne beschreiben; aber erst Newton konnte die Methoden angeben, wie man Bahnen um die Sonne aus Beobachtungen, die auf der umkreisenden Erde angestellt sind, berechnet, worauf im Jahre 1705 sein Landsmann Halley die ersten Kometenbahnen praktisch untersuchen konnte. Wir kommen hierauf zurück. Obgleich sich erst der zweite Hauptabschnitt unseres Werkes mit den Bewegungen der Himmelskörper beschäftigen soll, wird es doch im vorliegenden Fall unmöglich sein, diese Bewegungen der Kometen überall außer Betracht zu lassen, da sie bei unseren folgenden Ermittelungen über die physische Natur dieser wandelbarsten aller Himmelswesen von grundlegender Bedeutung sind. Den Beweis dafür, daß die hier angeführten Bewegungen und Stellungen zu Sonne und Erde durch Methoden ermittelt worden sind, die keinerlei Irrtum, abgesehen von Unsicherheiten der Rechnung, über diese Angaben zulassen, werden wir im zweiten Hauptabschnitt zu führen suchen.



Zeichnungen von Kometen aus Hevels „Cometographia".

Betrachten wir zunächst die äußere Erscheinung der Kometen etwas näher, wie sie sich dem bloßen Auge darstellt, so wird als charakteristisches Merkmal zuerst ihr S c h w e i f auffallen, von dem die Gestirne ja auch ihren Namen haben. Da größere Kometen seltenere Erscheinungen sind (die Statistik ergibt, daß durchschnittlich alle vier bis fünf Jahre dem bloßen Auge ein solches Gestirn sichtbar wird), so müssen wir uns in Ermangelung von jeweilig sichtbaren Gestirnen dieser Art für ihr Studium auf Abbildungen beschränken. Deren gibt es eine große Anzahl, aber wir werden leider auf die meisten Zeichnungen aus vergangenen Jahrhunderten verzichten müssen, da sie offenbar durch die festgewurzelte Kometenfurcht subjektiv entstellt sind, wie die obenstehende Wiedergabe eines Kupfers zeigt, das dem Werke von Hevel entnommen ist. Einige dieser Figuren zeigen durch ihr schwertartiges Aussehen nur zu deutlich den Einfluß der damaligen Furcht vor den bedrohlichen Himmelszeichen; andere dagegen sind jedenfalls unbefangener aufgenommen und weisen Spuren von später wirklich beobachteten Erscheinungen auf, z. B. die Ausströmungen nach verschiedenen Richtungen hin (s. oben, vierter Komet von oben), mehrfache Kerne (zweitletzter Komet) u. s. w.

Der einzige unparteiische Zeichner, der photographische Apparat, konnte bisher leider nur wenige große Kometen fixieren, da seit 1882 kein solcher mehr erschienen ist, der für gut ausgerüstete Sternwarten unserer Halbkugel erreichbar war. Kaum ein Jahr früher aber war es, als es zum ersten Male glückte, das vollständige Bild eines Kometen auf der lichtempfindlichen Platte festzuhalten, nachdem am 28. September 1858 der berühmte Donatische Komet den ersten merkbaren Eindruck auf einer nassen Kollodiumplatte

hervorgebracht hatte. Die vorerwähnte erste wirklich geglückte Photographie ist am 30. Juni 1881 von dem französischen Astrophysiker Janssen aufgenommen worden und nach einer Zeichnung (s. untenstehende Abbildung) wiedergegeben. Eine direkte Reproduktion des schwachen Lichteindruckes auf der Platte, ohne Zuhilfenahme der menschlichen Hand, war nicht möglich. Die Aufnahme geschah mit einem eigens für ähnliche Zwecke konstruierten, außerordentlich lichtstarken Spiegel von 0,5 m Öffnung und nur 1,6 m Brennweite. Die Platte mußte dem Lichte des Kometen ½ Stunde lang ausgesetzt werden. Inzwischen haben die Fortschritte der photographischen Kunst sich in ganz vorzüglichen Darstellungen viel lichtschwächerer, seither erschienener Kometen kundgetan, von denen wir noch näher zu sprechen haben.

Die Janssensche Photographie von 1881 zeigt uns zugleich etwa den normalen Typus eines großen Kometen. Auch die beigegebene farbige Tafel gibt den Eindruck wieder, den eine solche Erscheinung inmitten unserer irdischen Natur hervorbringt. Die am schärfsten begrenzte, parabolisch abgerundete Seite, die bei normalen Verhältnissen der Richtung zugekehrt ist, wo sich die Sonne unter dem Horizonte befindet, nennt man den **Kopf** des Kometen, an dem hinten der **Schweif** hängt, dessen Lichtschimmer sich ganz allmählich im Himmelsdunkel verliert. In der Regel ist der Schweif ein wenig nach der Seite hin gekrümmt, von der das Gestirn herkommt, ähnlich wie der Dampf, der aus einer fahrenden Lokomotive strömt. Wenn die Helligkeit des Schweifes im Querschnitt überhaupt Verschiedenheiten aufweist, so ist die dem Laufe vorangehende Seite meist heller und schärfer begrenzt als die nachfolgende, und in der Mitte befindet sich ein dunklerer Kanal. Wie hell auch der Schweif leuchten mag, so scheinen doch alle Sterne, vor denen er schwebt, mit ungeschwächtem Glanze durch ihn zu uns her: eine der wunderbarsten Tatsachen, die an diesen Rätselwesen schon früh bemerkt worden ist und sie dadurch nur noch wesenloser, gespenstischer erscheinen ließ.


Erste Photographie eines Kometen, aufgenommen von Janssen in Meudon am 30. Juni 1881.

Das sind wohl alle Merkmale, welche die großen Kometen für das bloße Auge gemeinsam haben; im einzelnen zeigen sie so tausendfältige Variationen ihrer Form, Ausdehnung und Farbe, so viele Eigenheiten und Sonderbarkeiten, daß man, um erschöpfend zu sein, ihnen einen ganzen Band allein widmen müßte.

Die Länge der Schweife kann zwischen kaum erkennbarer Größe und hundert und mehr Graden Ausdehnung schwanken, so daß sie, wenn der Kopf am Horizonte gerade aufgeht, ihren Lichtstreif weit über unsere Häupter hinweg mit seinem äußersten Ende schon wieder dem Untergange zuneigen. Das ganz allmähliche Verschwinden des Schweiflichtes im Himmelsgrunde setzt übrigens der Messung der Schweiflänge große Schwierigkeiten entgegen und macht sie sehr unsicher. Der momentane Luftzustand, die Güte des beobachtenden Auges, der Einfluß des etwa vorhandenen Mondlichtes bedingen große Schwankungen in den Längenangaben und bringen oft den Eindruck plötzlicher großer Veränderungen hervor, die mit den Vorgängen in den Kometen selbst nichts zu schaffen



LANDSCHAFT MIT EINEM GROSSEN KOMETEN VON NORMALER FORM.

Originalbild von *H. Harder.*

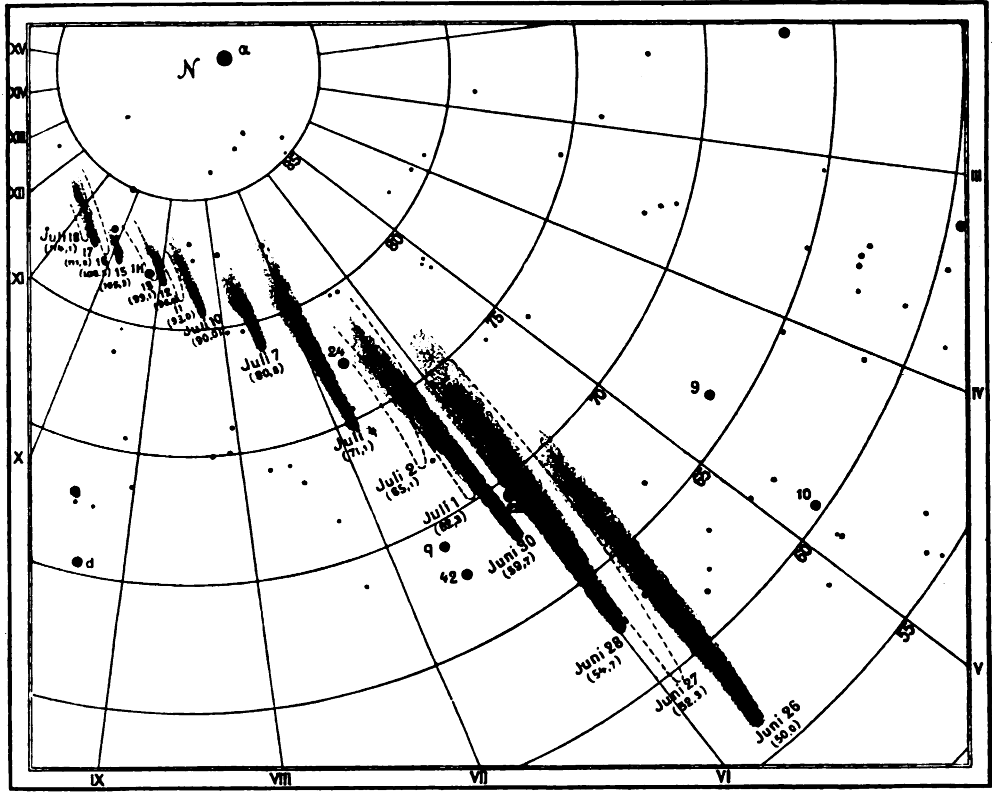
haben. So wurde z. B. bei dem großen Kometen von 1861 die Schweiflänge während seiner größten Entwickelung zu etwa 40 Grad angegeben, während Schmidt in Athen bei dem reinen griechischen Himmel mit seinem ganz besonders scharfen Auge die Ausdehnung des Schweiflichtes zeitweilig bis auf das Dreifache dieser Länge, 120 Grad, verfolgen konnte. Zu den glänzendsten und größten Erscheinungen aller Zeiten gehörte der Komet von 1680. Sein Schweif konnte leicht bis auf 80 Grad Länge verfolgt werden. Der hellste aller bisher erschienenen Haarsterne war aber unzweifelhaft der von 1882, mit dem die Ära großer Kometen, die das 19. Jahrhundert darbot, in auffälliger Weise ihren Abschluß fand. Bis zu unseren Tagen ist seither kein großer Komet mehr aufgetreten. Allenfalls könnte man den Danielschen Kometen, der im August 1907 am Morgenhimmel einen etwa 10 Grad langen Schweif zeigte, zu den mittelgroßen rechnen. Auch von der 1882er Erscheinung werden nur wenige etwas gesehen haben, denn sie trat ebenso für uns in den frühen Morgenstunden Ende September auf; der Komet war damals noch in heller Dämmerung kurz vor Aufgang der Sonne deutlicher zu sehen, als in ähnlicher Stellung jemals einer der großen Planeten erscheinen würde. Wir werden die Geschichte dieses merkwürdigsten aller Kometen noch ausführlich zu erzählen haben.

Abgesehen von den erwähnten scheinbaren Veränderungen, erleiden die Kometenschweife in ihren Dimensionen wirkliche Änderungen, und zwar in ganz ungeheuerm Maße. Die Regel ist, daß die Kometen in unscheinbarer Größe aus dem Weltraume zur Sonne hinstreben, ja in sehr vielen Fällen vor ihrer größten Sonnennähe mit dem bloßen Auge gar nicht sichtbar werden. Während dieser größten Annäherung an den Zentralherd unseres Weltsystems bleiben sie unsichtbar, weil sie am alles überstrahlenden Tageshimmel stehen. Sobald sie aber dann je nach der Art ihres Laufes in der Abend- oder Morgendämmerung wieder auftauchen, zeigen sie sich mit einem langen Schweif geschmückt, der in dieser Zeit meist schon seine maximale Länge erreicht hat und nur noch scheinbar wegen seines weiteren Vordringens in den dunkeln Nachthimmel wächst. Nun nimmt der Schweif wieder ab, doch viel allmählicher, als er sich entwickelt hatte. Zum Teil ist diese Abnahme eine Wirkung der Perspektive, da sich der Komet wieder auf seinem Weg in den Weltraum zurück von uns entfernt; zum großen Teil aber ist die Abnahme der Größe, wie die Rechnung unzweifelhaft ergibt, eine wirkliche. Schließlich wird der Komet schweiflos, allerdings meist nur, wenn er dem bloßen Auge bereits entschwunden ist. Aber wie keine Regel, die man für die Kometen aufstellen mag, ohne Ausnahme ist, wodurch ihr Studium so wesentlich erschwert wird, so hat es auch Kometen gegeben, die erst weit hinter ihrer Sonnennähe ihren Schweif entwickelten und Helligkeitszunahmen zeigten, indem sie sich von uns und der Sonne entfernten.

Um einen Begriff von der wechselnden scheinbaren Größe eines Kometenschweifes zu geben, stellen wir in der Abbildung auf S. 200 den Anblick des großen Kometen von 1881 dar, wie er sich in der Zeit vom 26. Juni bis zum 18. Juli für das bloße Auge teils in Löwen, teils in Genf zeigte. Im nördlichen Deutschland war die Erscheinung, obgleich sie die ganze Nacht hindurch über dem Horizonte blieb, nicht auffällig geworden, weil sie in die Zeit der hellen Sommernächte fiel. Wo die Lage des Schweifes die für eine frühere Zeit stattfindende überdecken würde, ist sie nur gestrichelt angegeben. Die wahre Entfernung des Gestirnes von der Erde in Millionen Kilometern ist dem Datum beigeschrieben. Die Vergleichung dieser Zahlen mit der Größe des Schweifes zeigt ohne weiteres, daß seine



Ausdehnungsänderungen nicht allein aus seiner wechselnden Entfernung zu erklären sind. Die rapide Abnahme zwischen dem 10. und 12. Juli ist vielmehr eine Folge der Anwesenheit des Mondes, der um diese Zeit seine volle Scheibe leuchten ließ, während man ein paar Tage später schon wieder einige Abendstunden bei Abwesenheit des Mondes zur Beobachtung des Kometen gewinnen konnten. Wir sehen deshalb den Schweif bald wieder merklich wachsen und darauf dauernd kleiner werden. Am 3. August war der Komet in Genf zum



Scheinbarer Lauf und Schweiflängen des großen Kometen von 1881, nach Beobachtungen von Terby in Löwen und M. W. Meyer in Genf. Vgl. Text, S. 199 u. 200.

letzten Male noch gerade mit dem bloßen Auge zu sehen, während er mit dem zehnzölligen Refraktor dort bis zum 19. Dezember, mit dem 24-Zöller in Cambridge (Nordamerika) sogar bis zum 14. Februar 1882 beobachtet werden konnte. Seinen Schweif aber hatte er auch im Fernrohre bereits Mitte August völlig verloren.

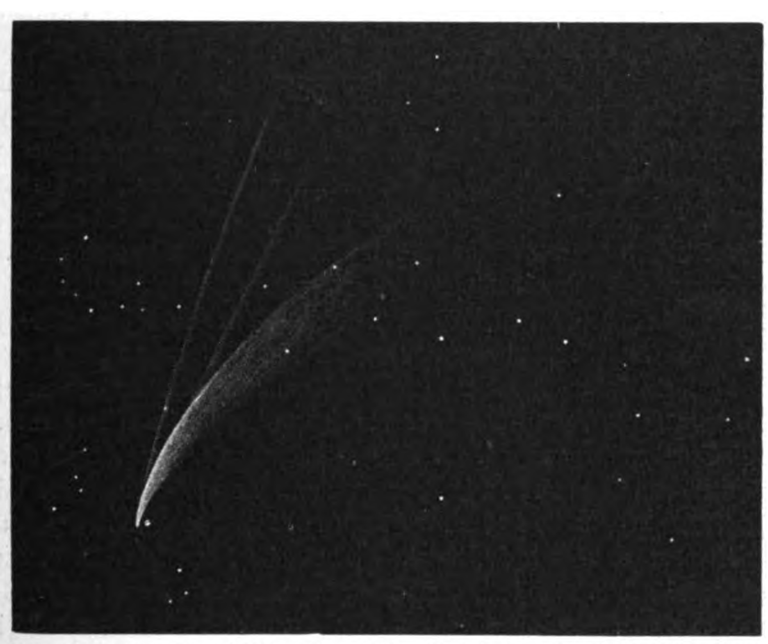
Es mag hierbei, unter Erinnerung an unsere Erörterungen im Kapitel über das Fernrohr, erwähnt werden, daß zur Bestimmung der Schweiflänge von großen Kometen dieses Instrument keine Hilfe zu leisten vermag, weil es das matt verglimmende Licht am Schweifende zu sehr ausbreitet, als daß es in unserem Auge noch einen Lichteindruck hervorbringen könnte; höchstens kann ein schwach vergrößernder Operngucker dienlich sein, meistens aber sieht ein gutes ganz unbewaffnetes Auge den Schweif am längsten. Anders verhält es sich dagegen mit dem lichtkondensierteren Kopfe des Kometen, der eine mehr oder weniger

Der Große Komet von 1843.

Originalzeichnung von W. Kranz.

starke Vergrößerung verträgt und deshalb im Fernrohr meist bedeutend mehr Einzelheiten zeigt, als das bloße Auge zu sehen vermag, und den man mit Hilfe dieser Vergrößerung noch lange verfolgen kann, nachdem er wegen seiner Kleinheit sonst unsichtbar geworden wäre.

Aus der scheinbaren Länge der Schweife und ihrer wirklichen Entfernung von uns kann man ihre wahre Länge berechnen, und man kommt dabei zu ganz enormen Zahlen, welche diese Himmelswesen als bei weitem die größten erkennen lassen, deren Ausmessung uns überhaupt noch möglich ist. So hatte der Schweif des Donatischen Kometen von 1858 am 10. Oktober des genannten Jahres eine Länge von 80 Millionen km; wenn man also seinen Kopf in die Mitte der Sonne verlegt denkt, so reichte das Ende des Schweifes bis über die Merkurbahn hinaus. Der riesige Komet von 1843 aber würde die Entfernung von der Sonne bis zum Mars über die Erdbahn hinweg haben überbrücken können; sein Schweif maß 250 Millionen km.



Donatischer Komet, mit bloßem Auge gesehen. Beobachtet von Bond, Cambridge, Mass., am 5. Okt. 1858.

Den eleganten Bogen, den wir für die Kometenschweife als typisch bezeichneten, haben jedoch nicht alle Kometen. Einige unter ihnen, und zwar gehören gerade diese zu den größten Erscheinungen, hatten ganz geradlinige Schweife, wie der Komet von 1843, dessen Eindruck auf der beigefügten landschaftlichen Darstellung wiedergegeben ist. Auch die 1880 und 1882 erschienenen Kometen besaßen ähnliche Schweife, die sich bei diesen der Sonne besonders nahe gekommenen Gestirnen dann ganz plötzlich entwickelten.

Nicht wenige Kometen ließen es überhaupt nicht bei nur einem Schweife bewenden. Einige zeigten zwei Schweife, von denen, wie bei dem schon mehrfach erwähnten Donatischen Kometen von 1858, der eine fast geradlinig war, der andere die charakteristische Krümmung nach der Rückseite hin besaß (s. die obenstehende Abbildung). Es soll sogar Kometen gegeben haben, deren einer Schweif von der Sonne wie gewöhnlich abgewandt, der andere aber ihr zugekehrt war; es scheint indes, als ob es sich dabei nur um Ausströmungen gehandelt habe, von denen noch später die Rede sein wird. Daß manche Kometen mehrere Schweife besessen haben, von denen einige oft beträchtliche Winkel mit der Richtung von der Sonne weg einschlossen, ist allerdings zweifellos. So wies der berühmte Komet von 1744 nach den Aufzeichnungen zeitgenössischer Astronomen fünf Schweife auf und bot etwa

den in der Abbildung auf S. 203 wiedergegebenen seltsamen Anblick dar. Immer zwei der hellen Streifen entsprechen dabei den beiden Seiten eines Schweifes, zwischen denen sich ein Hohlraum befindet. So sieht es aus, als ob dieser Komet gar zehn Schweife gehabt hätte.

Unsere Ansichten über die Kometen werden begreiflicherweise wesentlich ergänzt durch das Studium der teleskopischen Erscheinungen, die viel häufiger als die dem bloßen Auge sich darbietenden sind, und deren jedes Jahr mehrere neue bringt. Seit die Kometenjagd namentlich in Amerika ebenso eifrig betrieben wird wie die Jagd nach kleinen Planeten, geben die Kometenverzeichnisse durchschnittlich 5—6 solcher Gestirne für jedes Jahr an. Während sich in den Annalen aller Völker und Zeiten im ganzen etwa 500 Kometen vorfinden, die mit dem bloßen Auge sichtbar waren, sind seit der Erfindung des Fernrohres allein, d. h. seit drei Jahrhunderten, an 300 Kometen ausschließlich durch seine Hilfe zu unserer Kenntnis gelangt, so daß wir rund 800 Kometenerscheinungen, einschließlich der Wiederkünfte der periodischen Gestirne, vermerkt haben. Das vollständigste Verzeichnis dieser Kometen und ihrer Bahnen hat Galle veröffentlicht. Es enthält als ersten berechneten Kometen den aus dem Jahre 372 v. Chr. von Aristoteles erwähnten. Bis zur Epoche der Erfindung des Fernrohres nennt es im ganzen 54 Bahnen; für das 17. Jahrhundert sind 19 Bahnen angeführt, bis 1799 deren bereits 62, und bis 1893 war die Zahl auf 276 gestiegen.

Das Entdecken von Kometen erfordert im übrigen, trotz der beträchtlichen Zahl dieser Wesen, eine ziemlich große Geduld. Denning, einer der geschicktesten und glücklichsten „Kometenjäger", erzählt, daß er nach jedem der fünf von ihm entdeckten Kometen etwa 120 Stunden lang gesucht habe. Dieses Suchen geschieht meist mit eigens dazu konstruierten Fernrohren, Kometensucher genannt, die große Lichtstärke mit einem großen Gesichtsfelde verbinden, was oft auf Kosten der korrekten Zeichnung am Rande des Gesichtsfeldes oder der völligen Farbenreinheit des Bildes erreicht wird. Ferner muß der Kometensucher leicht beweglich sein, weshalb er allen Beiwerkes entbehrt, das bei anderen astronomischen Fernrohren zur Einstellung auf einen bestimmten Ort des Himmels oder zu Messungen dient. Unsere Abbildung auf Seite 204 stellt den sogenannten Kometenstuhl der Straßburger Sternwarte dar, der dem Beobachter erlaubt, mit dem Instrumente den ganzen Himmel abzustreifen, ohne vom Stuhle aufzustehen. Denning bedient sich zum Kometensuchen eines Spiegelteleskopes von 10 Zoll Öffnung und sehr kurzer Brennweite, mit dem er bei der gewöhnlich angewandten 40fachen Vergrößerung etwa einen Grad des Himmelsgewölbes zugleich übersehen kann.

Das Suchen geschieht in der Weise, daß man zunächst den nächtlichen, mondlosen Himmel vorsichtig und systematisch abstreift, bis man ein verdächtiges, d. h. kometenartiges, Objekt erblickt. Dies wird verhältnismäßig oft geschehen, mehrmals in jeder Nacht, denn es gibt, wie wir später sehen werden, mehrere tausend sogenannter Nebelflecke am Himmel, die sich von den teleskopischen Kometen nicht anders unterscheiden, als die Fixsterne von den kleinen Planeten. Die Nebelflecke behalten ihren Ort bei, während die Kometen sich von der Stelle bewegen. Erkennt man nun das aufgefundene Objekt nicht sofort als einen solchen Nebel, so zeichnet man seinen Ort in eine bereitgehaltene Himmelskarte ein, bestimmt dadurch ungefähr seine Lage zwischen den bekannten Sternen und sieht dann in den Nebelfleckkatalogen nach, ob das Objekt dort aufgeführt ist, was meistens der Fall sein wird. Findet man aber eine wirklich neue Erscheinung, so muß man einige Zeit, oft bis

zu einer Stunde, warten, um eine Bewegung festzustellen. Ist keine vorhanden, so hat man einen neuen Nebel gefunden, was gewöhnlich von keiner besonderen Bedeutung ist. Im anderen Falle aber hat man wirklich einen Kometen entdeckt. Dieser wird darauf in einem Fernrohr aufgesucht, das mit Meßwerkzeugen zur genaueren Ortsbestimmung am Himmel ausgestattet ist, und schließlich wird dieser Ort in einer unter den Astronomen aller Weltteile vereinbarten abgekürzten Chiffreschrift nach der Zentralstelle für



Fünfschweifiger Komet von 1744. Vgl. Text, S. 202.

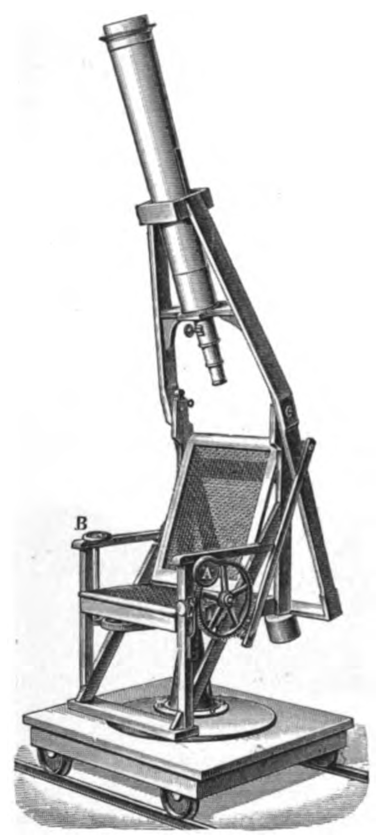
astronomische Telegramme in Kiel depeschiert, welche die Entdeckung sofort allen Beteiligten rings um den Erdball mitteilt. Diese Organisation des internationalen, astronomischen Mitteilungswesens ist in der Tat mustergültig; wenn auf irgendeiner wohlorganisierten Sternwarte der Welt heute eine wichtige Entdeckung gemacht wird, so kennen am Tage darauf alle übrigen Sternwarten, die den verhältnismäßig geringen Beitrag zu den Unkosten jährlich zahlen, alles Nötige über die Entdeckung.

Ist der neuentdeckte Komet von der gewöhnlichen Art, derer, die in einer sogenannten parabolischen Bahn das Sonnensystem nur einmal besuchen, so wird er mit derjenigen Jahreszahl bezeichnet, die der Zeit seiner größten Annäherung zur Sonne entspricht, eventuell werden bei mehreren Erscheinungen desselben Jahres der Reihe nach römische Zahlen hinzugefügt; man spricht also von einem Kometen 1881 III oder 1890 VII. Stellt



es sich aber durch die Rechnung heraus, daß der neue Komet zu der kleinen Gruppe derjenigen gehört, die in bestimmten, verhältnismäßig kleinen Zeitintervallen die Sonne wiederholt besuchen, so erhält der periodische Komet den Namen des Entdeckers, der dann bei allen seinen späteren Wiederkünften mit ihm verknüpft bleibt.

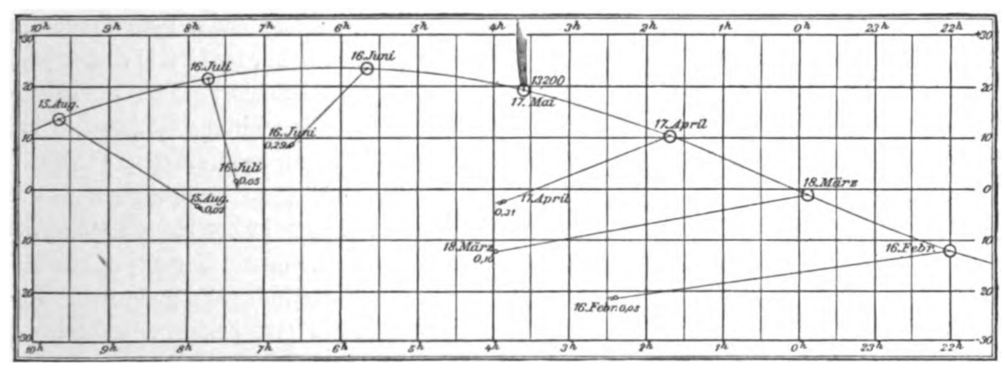
Die etwa 800 bekannten Kometen sind begreiflicherweise nur ein kleiner Bruchteil des offenbar ungeheuern Reichtums der Himmelsräume an diesen seltsamen Wesen. Diese können aber ihrer Lichtschwäche wegen, die regelmäßig bei zunehmender Entfernung von der Sonne eintritt, in der Regel nicht bis über einen Umkreis von etwa der doppelten Distanz der Sonne von uns auf ihrem Weg in die dunkeln Tiefen des Weltraumes verfolgt werden, und die Periode ihrer Sichtbarkeit überschreitet selten einen Zeitraum von wenigen Monaten. Ganz abnorm zeigte sich in dieser Hinsicht der Komet 1889 I, der am 2. September 1888 von Barnard auf der Lick-Sternwarte entdeckt wurde und mit den Unterbrechungen, die durch den scheinbaren jährlichen Lauf der Sonne bedingt wurden, 971 Tage lang, bis zum 1. Mai 1891, wo ihn Spitaler in Wien zuletzt sah, verfolgt werden konnte. Der Komet, der niemals besonders hell, wenn auch um die Zeit seiner Sonnennähe noch gerade mit bloßem Auge erkennbar war, befand sich bei seiner letzten Beobachtung in der früher von keinem anderen sichtbaren Kometen erreichten Entfernung von 8,2 Sonnenweiten, also zwischen den Bahnumfängen von Jupiter und Saturn, letzterem viel näher als ersterem. Es ist kein Grund dafür vorhanden, daß es besonders viele Kometen gibt, deren größte Annäherung zur Sonne innerhalb der Entfernungen liegt, die wir von der Erde aus mit unseren Fernrohren noch beherrschen können; es muß im Gegenteil wegen der größeren Räume, die hinter diesem Umkreise noch innerhalb der Wirkungssphäre der Sonne liegen, die weitaus größte Anzahl von Kometen, die sich in unserem Sonnensystem befinden, uns gänzlich unsichtbar bleiben. Kleiber, ein früh verstorbener Petersburger Gelehrter, hat durch eine Wahrscheinlichkeitsrechnung, die sich auf die Statistik der erschienenen Kometen gründet, gefunden, daß innerhalb des Umfanges der Neptunbahn gleichzeitig nicht weniger als 5900 dieser Gestirne vorhanden sind, und jedes Jahr 240 sowohl hinzutreten als sich darüber hinaus entfernen. Dies macht für die zweitausend Jahre unserer Zeitrechnung eine Viertelmillion Kometen, die unser Sonnensystem durchlaufen haben müssen! Kepler hatte also völlig recht mit dem Ausspruche, daß die Kometen am Himmel so zahlreich seien wie die Fische im Meere.



Repsoldscher Kometensucher der Straßburger Sternwarte. Vgl. Text, S. 202.

Kleiber fand auch noch, daß unter diesen zahlreichen Kometen alle 72 Jahre einer eine Bahn beschreiben müsse, die seinen Sturz in die Sonne unvermeidlich mache. Wir werden später sehen, daß dieser extreme Fall zwar noch nicht beobachtet worden ist,

daß aber ziemlich viele Kometen auftraten, die in sehr großer Nähe zur Sonne gänzlich unversehrt an dem glühenden Tagesgestirn vorübersausten. Gerade unter den Erscheinungen mit derartigen Bahnen befinden sich, wie Holetscheck nachwies, ziemlich viele, die uns trotz dieser großen Annäherung, selbst wenn sie dann ganz enorme Schweife entwickeln sollten, niemals sichtbar werden können, weil sie beständig am Tageshimmel stehen. Bei so geringer Periheldistanz, wie man den kürzesten Abstand eines Gestirns von der Sonne bezeichnet, müssen nämlich die parabolischen Bahnen solcher Körper notwendig eine scharfe Kurve um die Sonne machen; die betreffenden Körper aber müssen dann oft schon wenige Stunden nach ihrer Annäherung in nahezu derselben Richtung, aus der sie kamen, wieder in den Raum zurückgeschleudert werden. Kam nun ein Komet aus einer Gegend des Tageshimmels zur Sonne her, so geht er sofort nach seinem Periheldurchgang auch wieder in jene Gegend zurück, und selbst sein Schweif, möge er auch noch



Bahn eines unsichtbaren Kometen. Die kleinen Kreise geben den Ort der Sonne für die beigesetzten Zeiten. Neben den mit den Scheiben durch gerade Linien verbundenen Orten des problematischen Kometen sind seine theoretischen Helligkeiten angegeben.

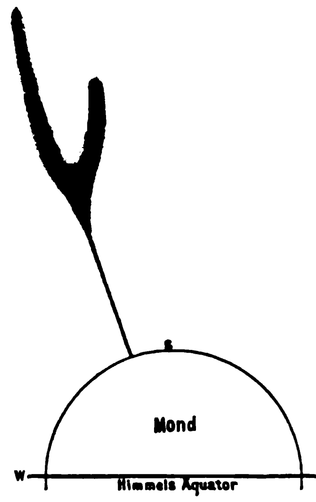
so lang sein, bleibt, wenn er der Sonne abgewendet ist, unsichtbar. Die obenstehende Zeichnung mag dies veranschaulichen. Es gibt aber im Jahre nur wenige Minuten, in denen für einen schmalen Landstrich auch der Tageshimmel sich verdunkelt und dann den Astronomen Gelegenheit bietet, die Umgebung der Sonne nach verdächtigen Objekten dieser Art zu durchsuchen, die sich sonderbarerweise in allzu grellem Lichte zu verbergen wissen. Diese wenigen Minuten sind die Augenblicke der Totalität einer Sonnenfinsternis. Aber während dieser kostbaren Minuten haben die Astronomen, die oft weite Reisen zur Beobachtung der Sonnenfinsternis unternommen hatten, meist Wichtigeres zu tun, als nach etwa bei der Sonne vorhandenen Kometen zu suchen.

Da ist nun wiederum die Photographie hilfreich gewesen, durch die man bereits bei zwei Sonnenfinsternissen auf den Platten einen Lichteindruck gefunden hat, der nach Lage und Form kaum von etwas anderem als von einem Kometen herrühren konnte. Der erste dieser Fälle ereignete sich bei der Finsternis vom 16. Mai 1882 in Ägypten; das Objekt wurde der Komet Chedive getauft. Seiner Erscheinung liegt die vorstehend gezeichnete scheinbare Bahn eines unsichtbaren Kometen zugrunde, indem für deren weiteren Verlauf gewisse, hier nicht weiter zu erörternde Voraussetzungen gemacht wurden. Der zweite kometenartige Eindruck wurde von Holden auf Platten entdeckt, die während der in Südamerika am 16. April 1893 beobachteten totalen Verfinsterung die nächste Umgebung



der Sonne festhielten. Eine Skizze dieser Erscheinung, nach den Platten hergestellt, ist unten beigefügt.

Wenden wir das mächtige Hilfsmittel des Fernrohres auf die Erforschung der Kometen an, so tritt uns eine Fülle von Einzelheiten entgegen, die uns erst überraschen, deren Ordnung unter einheitliche Gesichtspunkte aber bald das geheimnisvolle Dunkel über diesen wunderlichen Himmelskörpern lichten wird. Zunächst erkennen wir, daß eine Zergliederung der Kometen in einen Kopf und den Schweif, die wir bisher anwandten, einer Verbesserung bedarf, da die teleskopischen Kometen häufig überhaupt keinen Schweif besitzen. Bei weitem die Mehrzahl aller Kometen, die im Fernrohr zuerst gesehen werden, zeigen sich als *rundliche Nebelmassen mit einer nach ihrer Mitte zunehmenden Lichtverdichtung*, die oft als scharf begrenzter Stern auftritt, oft aber auch ganz verwaschen bleibt. Dieses Aussehen haben anfangs auch die Gestirne, die später bei ihrer weiteren Annäherung zur Sonne einen noch so großen Schweif entwickeln mögen. Die *Nebelhülle* aber fehlt niemals und ist deshalb als das Bleibende, als der eigentliche Komet zu betrachten. Die Lichtverdichtung in der Nebelhülle nennt man den *Kern* des Kometen. Er scheint gleichfalls bei allen diesen Weltkörpern vorhanden zu sein und verbirgt sich nur bei einigen in der dichten Hülle, die man auch *Coma* zu nennen pflegt. Die auf Seite 207 stehende Wiedergabe der vortrefflichen Aufnahme des Kometen Holmes oder 1892 III gibt den Eindruck wieder, den die teleskopischen Kometen anfangs meist machen. Die Aufnahme wurde von Barnard auf der Lick-Sternwarte am 8. November 1892 durch eine dreistündige Exposition erhalten; der Komet ist die am unteren Rande der Abbildung sichtbare Nebelmasse. Rechts oben ist der Andromedanebel mit abgebildet, in dessen Nähe der Komet zwei Tage vorher entdeckt worden war. Dieser Nebel ist gerade noch mit bloßem Auge zu erkennen, ebenso der Komet um diese Zeit, was zu merkwürdigen Schlüssen geführt hat, auf die wir später zurückkommen. Die feinen Pünktchen, mit denen das Bild überdeckt ist, rühren von den an dieser Stelle des Himmels sehr zahlreichen Fixsternen her. Bei genauerem Hinschauen wird man erkennen, daß namentlich die kleineren derselben keine Punkte oder Scheibchen sind, sondern von oben nach unten etwas in die Länge gezogen erscheinen. Dies ist eine Folge der Ortsbewegung des Kometen, denn da er während des Exponierens immer auf demselben Flecke der Platte, durch Nachschieben des Fernrohrs mittels feiner Schrauben, erhalten wird, so müssen sich alle festen Sterne auf der Platte von der Stelle bewegen. Auf der bei Seite 208 wiedergegebenen Kometenphotographie tritt dies noch viel deutlicher hervor, indem dort die Sterne zu langen Strichen ausgezogen wurden. Der Komet Holmes hatte damals indes eine kaum merkliche scheinbare Bewegung, weshalb man glaubte, er bewege sich schnurstracks auf uns zu (s. auch S. 196).



Kometenartiges Objekt, von Holden auf einer bei Gelegenheit der Sonnenfinsternis vom 16. April 1893 gemachten photographischen Aufnahme entdeckt.

Bei der Annäherung eines solchen zunächst teleskopischen Kometen an die Sonne bemerkt man in der Regel eine immer wachsende Unruhe in seinem Innern. Die erst ganz

verwaschen sich im Dunkel des Himmelsgrundes verlierende Hülle nimmt schärfere Konturen an, sie wird heller, verdichtet sich in der Mitte zu einem deutlicher erkennbaren Kern und wird, was sehr bemerkenswert ist, nicht selten kleiner als zuvor, immer abgesehen von der durch die wechselnde Entfernung bedingten, nur scheinbaren Ausdehnungsänderung.



Der Komet Holmes (nahe dem großen Andromedanebel), photographiert von E. E. **Barnard** auf der Lick-Sternwarte am 8. November 1892. Vgl. Text, S. 206.

Oft auch zieht sich die Nebelhülle gegen die Sonne hin in die Länge, so daß ihre früher runde Gestalt jetzt elliptisch wird. Bei den meisten teleskopisch bleibenden Kometen wird nichts Sonderliches weiter bemerkt; wenn sie sich wieder von der Sonne entfernen, wiederholen sich dann die Erscheinungen in umgekehrter Reihenfolge. In manchen, nicht sehr häufigen Fällen entwickelt sich wohl auch ein gewöhnlich recht schmaler Schweif aus der Coma, wie ihn z. B. Komet Gale von 1894 zeigte, von dem wir auf Seite 208 die Reproduktion einer wiederum von Barnard herrührenden Photographie abbilden.

Hellere Kometen mit Schweifen.

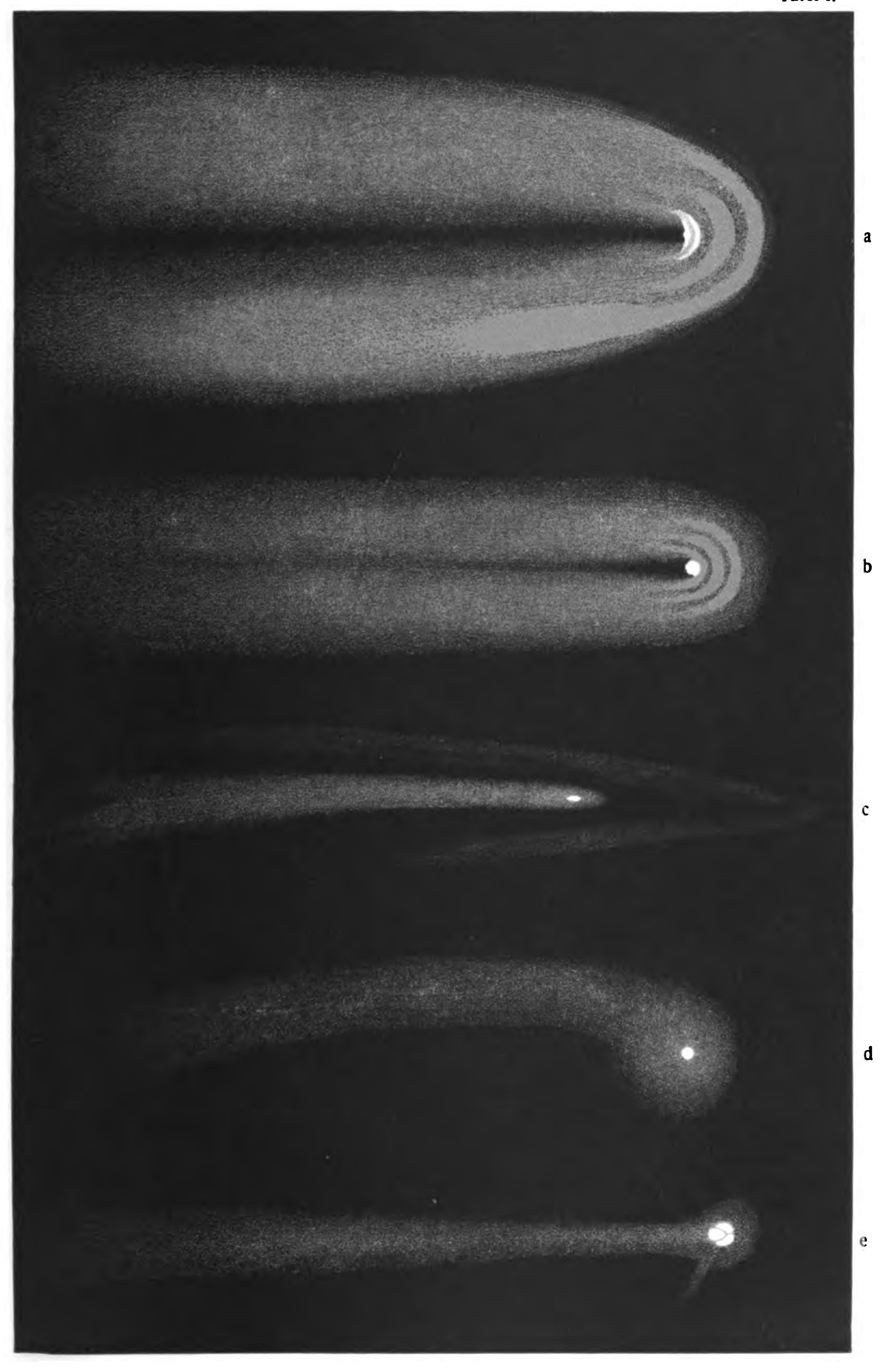
a. Komet Donati, gezeichnet von Bond in Cambridge (N.-A.) am 29. September 1858.

b. Komet Coggia (1874 III), gezeichnet von Trouvelot in Cambridge (N.-A.) am 13. Juli 1874.

c. Großer September-Komet von 1882, mit seinem Nebelrohr, gezeichnet von Thollon u. Gouy in Nizza am 16. Oktober 1882.

d. Komet Olbers, gezeichnet von Rud. Spitaler in Wien am 23. Oktober 1887.

e. Komet Sawerthal, gezeichnet von Rud. Spitaler in Wien am 7. April 1888.



HELLERE KOMETEN MIT SCHWEIFEN.

Bei den Kometen, die in ihrer Sonnennähe einen ansehnlichen Schweif bilden, sieht man meist leuchtende Massen aus dem Kern hervorbrechen, zunächst nur auf der der Sonne zugewendeten Seite, so daß die Lichtbüschel gegen die letztere hingeschleudert werden. Ausnahmslos aber biegt in solchen Fällen der ausgeworfene Strahl kometarischer Materie in einer gewissen Entfernung vom Kern wieder um und fällt nun oft fontänenartig nach beiden Seiten weit hinter jenen in parabolischem Bogen zurück, indem er hinter dem Kern den der Sonne abgewandten Schweif bildet. Die auf solche Weise vor dem Kometen entstehende Umhüllung nennt man seine Haube. Unsere Abbildung des Halleyschen Kometen bei seiner Wiederkehr von 1835 (Tafel II, bei S. 218, Fig. a), von Schwabe am 15. Oktober des genannten Jahres gezeichnet, und die des Kometen 1881 III, am 26. Juni von Thury mit Hilfe des Zehnzöllers in Genf entworfen (Tafel II, Fig. c), mögen diese Erscheinung der Lichtausbrüche mit den sich daraus entwickelnden Hauben und Schweifansätzen veranschaulichen.



Komet Gale, am 5. Mai 1894 von E. E. Barnard aufgenommen. Vgl. Text, S. 206 u. 207.

Die Ausbrüche von Lichtmaterie aus dem Kern behalten aber nicht immer die zuerst eingenommene Richtung inne, sondern bei einigen, z. B. bei dem Halleyschen Kometen von 1835, hat man diesen Strahl deutlich um die Richtung nach der Sonne hin pendeln sehen, während bei anderen Erscheinungen nach und nach immer mehr Lichtbüschel aus dem Kern hervorbrachen, und zwar in allen Richtungen. Durch diese verschiedenen Ausbrüche entstehen dann auch verschiedene Hauben, die sich, wenn die Ausbrüche nacheinander erfolgten, übereinander lagern. So sieht man auf unseren beiden Kometentafeln bei dem Kometen 1881 III, der am 26. Juni (Tafel II bei S. 218, Fig. c) nur e i n e Haube besaß, am 27. (Fig. d) zwei, am 28. (Fig. e) drei derselben. Sehr schön zeigte diese übereinander liegenden Hauben auch der oft erwähnte Donatische Komet, wie die treffliche Zeichnung von Bond erkennen läßt (Tafel I, Fig. a), endlich auch der Komet Coggia von 1874 (Tafel I, Fig. b). Wenn die Hauben sich sehr weit vom Kern hinweg nach der Sonne zu bewegen und doch noch deutlich genug sichtbar bleiben, so können sie beim Anblick mit dem bloßen Auge den Eindruck eines der Sonne zugewandten Schweifes machen. Die Hauben liegen auch nicht immer konzentrisch zueinander. Wenn bei nicht konzentrischer Lage jede für sich einen Schweif entwickelt, so können diese verschiedene Richtungen annehmen, so daß der Komet mehrfach geschweift erscheint. Sehr eigentümlich gestalteten sich diese Verhältnisse bei dem großen Septemberkometen von 1882, dessen eine Haube sich mit ihrem Schweife so weit vorgeschoben hatte, daß man deutlich sehen konnte, wie der eine

Hellere Kometen mit Schweifen.

a. Komet Donati, gezeichnet von Bond in Cambridge (N.-A.) am 29. September 1858.

b. Komet Coggia (1874 III), gezeichnet von Trouvelot in Cambridge (N.-A.) am 13. Juli 1874.

c. Großer September-Komet von 1882, mit seinem Nebelrohr, gezeichnet von Thollon u. Gouy in Nizza am 16. Oktober 1882.

d. Komet Olbers, gezeichnet von Rud. Spitaler in Wien am 23. Oktober 1887.

e. Komet Sawerthal, gezeichnet von Rud. Spitaler in Wien am 7. April 1888.

HELLERE KOMETEN M

Hellere Kometen mit Schweifen.

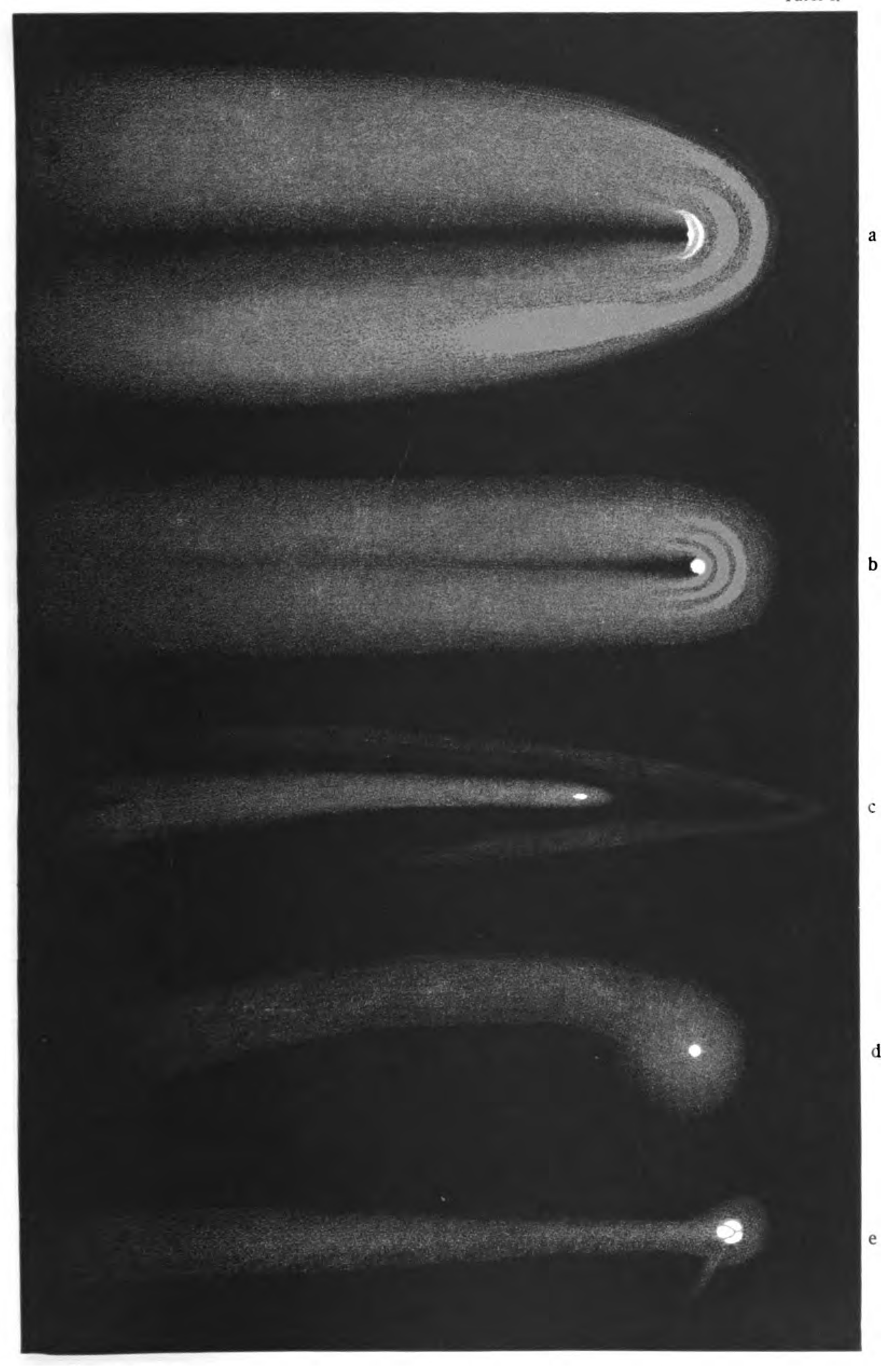
a. Komet Donati, gezeichnet von Bond in Cambridge (N.-A.) am 29. September 1858.

b. Komet Coggia (1874 III), gezeichnet von Trouvelot in Cambridge (N.-A.) am 13. Juli 1874.

c. Großer September-Komet von 1882, mit seinem Nebelrohr, gezeichnet von Thollon u. Gouy in Nizza am 16. Oktober 1882.

d. Komet Olbers, gezeichnet von Rud. Spitaler in Wien am 23. Oktober 1887.

e. Komet Sawerthal, gezeichnet von Rud. Spitaler in Wien am 7. April 1888.



HELLERE KOMETEN MIT SCHWEIFEN.

Schweif in dem anderen steckte, also gewissermaßen zwei ineinandergeschachtelte Kometen entstanden waren. Eine sehr charakteristische Zeichnung dieses Kometen mit seinem Nebelrohr geben wir auf unserer beigehefteten Tafel I (Fig. c) wieder; sie wurde auf der Sternwarte zu Nizza am 16. Oktober 1882 von Thollon und Gouy angefertigt.

Blieben hier die beiden Teile des Kometen verhältnismäßig nahe beieinander, so daß sie im großen und ganzen nur den Eindruck eines einzigen machten, so haben andere Teile dieses Kometen sich doch endgültig voneinander getrennt. Er zersplitterte sich förmlich. In einem anderen berühmten Falle, beim Bielaschen Kometen, der uns noch vielfach beschäftigen wird, war die Zweiteilung eine so vollkommene, daß neben dem ursprünglichen Individuum ein im ganzen Aussehen fast identisches, nur kleineres durchaus getrennt einherlief (s. die Struvesche Zeichnung auf Tafel II, Fig. g, bei Seite 218). Sie entfernten sich damals bis zu 310,000 km oder 24 Erddurchmessern voneinander und erschienen sechs Jahre später, als sie einen Umlauf um die Sonne miteinander vollendet hatten, in dieser Doppelgestalt wieder, wenngleich sie sich nun um mehr als das Neunfache des früheren Abstandes, bis auf 205 Erddurchmesser, voneinander entfernt hatten. Diese Zweiteilung eines Kometen steht nicht vereinzelt da: 1860 entdeckte Liais einen ähnlichen, aus zwei Nebelmassen bestehenden kleinen Kometen, der leider nicht weiter verfolgt werden konnte, und es scheint, als ob einige Mitteilungen aus älteren Zeiten durch solche Katastrophen gedeutet werden können, welche die Zersplitterung eines großen Himmelskörpers zur Folge hatten.

Daß in der Tat zuweilen großartige Umlagerungen der Kometenmaterie sich ereignen, bewies der merkwürdige Komet von 1882 mit einer Anzahl anderer, deren Kerne sich in mehrere Lichtpunkte oder Lichtverdichtungen spalteten, ohne daß ein äußerer Anlaß dazu zu entdecken gewesen wäre; denn dieses Zerplatzen findet nicht immer in den größten Annäherungen der Kometen an die Sonne statt, in denen man der ungeheuern und ziemlich plötzlichen Erwärmung wohl eine solche Wirkung zuschreiben könnte. Einen allmählichen Zerfall eines Kometen in viele für sich bestehende Teile hat man unter anderem auch bald nach der Erfindung des Fernrohrs an der Erscheinung von 1618 wahrgenommen.

Solche inneren Vorgänge gewaltigster Art deuten auch die unvermittelt auftretenden Helligkeitsschwankungen an, die man bei verschiedenen dieser Gestirne beobachtet hat. Zuerst geschah dies in auffälliger Weise im Jahr 1883 und 1884 an dem periodischen Kometen von Pons-Brooks, wie es unter anderem von Müller in Potsdam nachgewiesen wurde. Man sah dabei, daß der Kern sich abwechselnd ausdehnte und zusammenzog, also kräftig pulsierte. Viel deutlicher traten derartige Lichtschwankungen an dem Kometen Sawerthal (s. beigeheftete Kometentafel I, Fig. e) oder 1888 I hervor. Das Gestirn, das am 18. Februar des genannten Jahres am Kap der Guten Hoffnung mit dem bloßen Auge entdeckt worden war, zeigte einen kurzen doppelten Schweif von etwa 2 Grad Länge, wie ihn unsere Zeichnung nach Spitaler wiedergibt. Nachdem der Komet seinem Lauf entsprechend immer schwächer geworden war, aber inzwischen seinen Kern auffällig in die Länge gezogen und dann in drei Stücke gespalten hatte, leuchtete er plötzlich in hellgelbem Licht auf, so daß Franz in Königsberg ihn für einen Fixstern hielt, der etwa neu aufgeleuchtet wäre, da die Verzeichnisse hier keinen Stern von solcher Helligkeit enthielten. In kräftigeren Fernrohren zeigten sich nun aber zwei mächtige, vom Kern ausgehende Lichtbüschel. Die allgemeine Helligkeit war um $3\frac{1}{2}$ Größenklassen gestiegen, was einer 25fachen Intensität entspricht. Hier ist also der mächtige Vorgang des plötzlichen Ausströmens von

Lichtmaterie aus dem Kern, den man sonst nur in großer Nähe zur Sonne wahrnimmt, noch einmal erfolgt in einem Teile der Kometenbahn, der schon beträchtlich weit von dem Zentralgestirn entfernt lag. Analog waren die beobachteten Vorgänge an dem Kometen Holmes von 1892, dessen Bahnbestimmung ergab, daß er drei Monate lang, bevor er entdeckt wurde, sich in Gegenden des Himmelsgewölbes aufgehalten haben mußte, in denen er der Aufmerksamkeit der Astronomen nicht hätte entgehen können, wenn er schon damals ungefähr die gleiche Helligkeit wie am Tage der Entdeckung besessen hätte; der Regel nach wäre er, da er sich seit Mitte Juni von der Sonne entfernte (er wurde am 6. November zuerst gesehen), seit Monaten im Abnehmen begriffen gewesen. Namentlich in den letzten Wochen vor seiner Entdeckung bewegte sich der Komet ganz in der Nähe des großen Andromedanebels, den sicher um diese Zeit Hunderte von Freunden der Sternkunde anschauten, wobei sie unzweifelhaft ein verdächtiges Objekt dabei hätten sehen müssen. Mit einem Male trat er für das bloße Auge sichtbar auf. Auch fernerhin wurde das Gestirn noch wesentlich heller. Da die erste Bahnberechnung nun ergab, daß der Körper sich nahezu in einer geraden Linie bewege, die auf uns zu gerichtet war, dem Rechner aber die Wahl zur Entscheidung ließ, ob seine Bewegung in dieser Linie selbst auf uns zu oder von uns hinweg gerichtet war, so entschied man sich für den ersteren Fall, weil der Komet beständig heller wurde. Der Fall eines schnurstracks auf uns zueilenden Kometen hat namentlich in Amerika nicht wenig Bestürzung hervorgerufen. Da aber der weitere Verlauf der streng mathematischen Behandlung keinen Zweifel darüber ließ, daß der Komet längst seine Sonnennähe passiert habe und sich von uns entferne, so war auch in diesem Fall eine abnorme Lichtschwankung festgestellt. Eine neue Lichtschwankung zeigte der Komet Mitte Januar 1893. Palisa in Wien vermißte um diese Zeit das Gestirn in seiner gewohnten Gestalt, sah dagegen, ebenso wie es früher mit dem Kometen Sawerthal geschah, an seiner Stelle einen hellen gelben Stern, der mit einer leichten Nebelhülle umgeben war. So verschwand er allmählich in den Tiefen des Universums.

Zu diesen plötzlichen Lichtschwankungen treten nun noch periodisch anhaltende, die zum mindesten vermutet werden. Die periodischen Kometen von Encke (Tafel II, Fig. b, bei S. 218) und Brorsen haben bei ihren verschiedenen Wiederkünften zur Sonne ungleiche Lichtstärken gezeigt, die sich durch ihre jeweilig veränderten Stellungen zur Erde und Sonne allein nicht erklären ließen und Berberich nach gewissen Zusammenstellungen zu der Vermutung führten, diese Kometen, oder vielleicht alle ohne Ausnahme, besäßen eine größere Lichtintensität zu den Zeiten, in denen die Sonne am meisten Flecke hat. Die Zahl der teleskopisch entdeckten Kometen scheint nämlich in diesen Jahren der erhöhten Sonnentätigkeit größer zu sein als in den Ruheperioden des Zentralgestirnes. Da nicht anzunehmen ist, daß die aus den entferntesten Weiten des Universums zu uns gelangenden Kometen wirklich in den Sonnenfleckenjahren in reicherer Fülle als sonst zu uns herabgeregnet kommen, so läßt sich jene periodische Schwankung der Zahl der Entdeckungen ungezwungen so erklären, daß alle Erscheinungen zu diesen kritischen Zeiten heller als sonst und deshalb leichter aufzufinden sind.

Daß die Art der kometarischen Lichtstrahlung großen Veränderungen unterworfen ist, die im allgemeinen mit ihrer Stellung zur Sonne zusammenhängen, hat auch das Spektroskop klar gezeigt. Die prismatische Zerlegung des Kometenlichtes wies zunächst nach, daß diese Himmelskörper, abweichend von allen bisher betrachteten, hauptsächlich in eigenem Lichte leuchten, da ihr Spektrum aus hellen Linien oder Banden besteht. Ein schmales

kontinuierliches Spektrum dagegen, das sich namentlich bei den helleren Erscheinungen mit deutlichem Kern über die charakteristischen Kometenbanden lagert (s. die Spektraltafel bei S. 52), rührt wenigstens zum Teil von Sonnenlicht her, das von Partikeln des Kernes reflektiert wird. Es ist Huggins am 24. Juni 1881 gelungen, das Spektrum der Kometen 1881 II und 1882 I zu photographieren, das deutlich Fraunhofersche Linien zeigte. Das Spektroskop läßt allerdings noch darüber in Zweifel, ob nicht ein Teil des kontinuierlichen Spektrums von eigenem Lichte des Kometen erzeugt wird, das etwa von glühenden festen Massen ausgeht. (Siehe wegen der allgemeinen hier in Betracht kommenden Prinzipien das Kapitel über die Spektralanalyse, S. 52 ff.) Jenes Bandenspektrum der Kometen aber kann nur von glühenden oder auf andere Weise selbstleuchtenden Gasen herrühren. Die genaue Identifizierung dieser Banden mit irdischen Lichtquellen stieß jedoch auf Schwierigkeiten, weil sie sehr verwaschen auftraten und deshalb der Messung keine festen Anhaltspunkte boten. Die Verwaschenheit rührt daher, daß man wegen der Lichtschwäche der Objekte den Spalt des Spektroskopes sehr weit öffnen muß, um möglichst viel Licht einzulassen. Da aber die Linien immer mindestens so breit erscheinen wie der Spalt, denn sie sind ja ein Bild desselben, so greifen sie, wenn sie sehr nahe beieinander stehen, übereinander und verwischen sich gegenseitig.

Das ganze Aussehen des Kometenspektrums erinnerte aber sofort an das der Kohlenwasserstoffverbindungen, zu denen z. B. das Leuchtgas gehört. Ihre Spektren haben nämlich die Eigentümlichkeit, aus einer großen Anzahl gruppenbildender, dicht aneinander stehender Linien zu bestehen, die beim roten Ende stets mit ihrer hellsten Linie beginnen und innerhalb derselben Gruppe nach dem Violett hin immer schwächere Linien zeigen. (Siehe die Spektraltafel bei S. 52.) Wenn man nun auch beim Spektrum des Kohlenwasserstoffes den Spalt weit öffnet, so gewährt dieses Spektrum in der Tat eine große Ähnlichkeit mit dem der Kometen. Allerdings besitzt es noch zwei Banden dieser Art, die im Kometenspektrum fehlen, aber diese sind schwächer als die anderen drei, so daß man wohl annehmen kann, sie seien im Kometenspektrum vorhanden, aber in unseren Instrumenten nicht mehr wahrnehmbar. Wirklich scheint auch Vogel beim Kometen Wells von einer dieser Banden Spuren gesehen zu haben. Bei dieser bloßen Feststellung einer Ähnlichkeit beider Spektren durfte es natürlich sein Bewenden nicht haben. Scheiner hat für acht Kometen die gemessenen Wellenlängen der Lichtmaxima jener Banden zusammengestellt und dafür im Mittel 563,0, 516,6 und 471,9 Mikron gefunden. Die hellen Anfangslinien des Kohlenwasserstoffspektrums (es wurde Azetylen gewählt), die den Kometenbanden entsprechen, haben nun die Wellenlängen 563,5, 516,5 und 473,8, stimmen also, bis auf die letzte Gruppe im Blau, vortrefflich mit jenen überein. Die Messungen der blauen Gruppe aber sind für die Kometenspektren noch mit einer Unsicherheit behaftet, welche die Abweichung wohl erklären kann. Eingehende Untersuchungen von Vogel, die sich auf besondere Eigentümlichkeiten der Spektren beziehen, haben diesen Forscher indes zu der Überzeugung geführt, daß die Kometen außer dem Kohlenwasserstoff auch Kohlenoxyd enthalten.

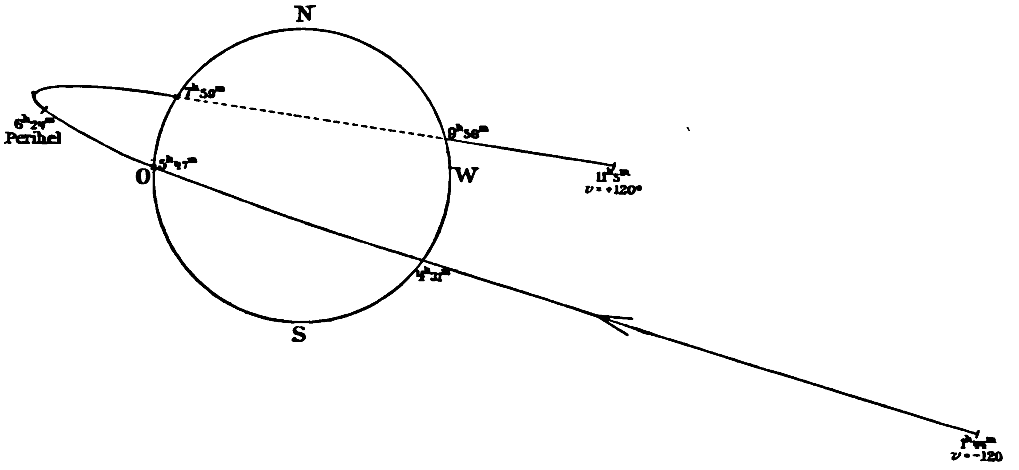
Das Dreibandenspektrum zeigten seit 1864, wo zuerst das Spektroskop auf einen Kometen von Donati in Florenz gerichtet wurde, sämtliche daraufhin untersuchbare Kometen, mit der einzigen Ausnahme des erwähnten merkwürdigen Kometen von Holmes, der nur ein kontinuierliches Farbenband ohne Unterbrechungen oder Verdichtungen hatte. Ein im Jahre 1882 von dem Amerikaner Wells entdeckter Komet jedoch machte anfangs insofern

eine sehr interessante Ausnahme von der allgemeinen Regel, als er in der ersten Zeit das normale Spektrum nur schwach erkennen ließ, dafür vielmehr ein ziemlich helles kontinuierliches Spektrum zeigte und dieses schließlich, als er der Sonne am nächsten stand, ganz plötzlich mit der allbekannten hellen gelben Linie vertauschte, die das verdampfende Kochsalz erzeugt, der Natriumlinie. Der Komet enthielt also unzweifelhaft diesen Stoff, der jedoch erst bei beträchtlicher Annäherung zur Sonne ins Glühen geriet. Als sich dann der Komet wieder von der Sonne entfernte, verschwand auch die Natriumlinie, und das gewöhnliche Spektrum griff von neuem Platz.

Es ist nun bemerkenswert, daß vordem keines dieser Gestirne der Sonne so nahe wie der Komet Wells gekommen war und zugleich spektroskopisch untersucht worden wäre. Seine kürzeste Entfernung von der Sonne, die er am 11. Juni einnahm, betrug nur etwa 9 Millionen Kilometer, also kaum den fünften Teil derjenigen des Merkur. Die Wärmemenge, die der Komet in dieser Stellung vom glühenden Tagesgestirn erhalten mußte, übertraf volle 270mal diejenige, die wir empfangen. Daß diese Nähe eine mächtige Wirkung auf den Kometen ausübte, zeigte auch seine ungemein große Helligkeit, die ihn zuerst am 5. Juni am hellen Tage dicht bei der Sonne im Fernrohr sichtbar machte. Bereits Ende Mai war der gelbe Teil des Spektrums wesentlich heller geworden, und am 31. bemerkte zuerst Vogel in Potsdam die Natriumlinie. Sehr auffällig war hierbei das ebenso plötzliche Verschwinden des normalen Spektrums, das nach Untersuchungen von Hasselberg in Petersburg nur durch die Einmischung elektrischer Erscheinungen in die Vorgänge um den Kopf des Kometen erklärlich ist. Erhitzt man nämlich ein Gemisch von Kohlenwasserstoff und Natriumdampf auf gewöhnliche Weise, so erscheinen die Spektren beider Gase übereinander gelagert; läßt man aber den elektrischen Funken hindurchschlagen, so erhitzt sich darin das Natrium so sehr viel mehr als das Kohlenwasserstoffgas, daß letzteres im Spektroskop gänzlich überstrahlt wird und verschwindet.

Gleich der nächstentdeckte Komet sollte eine Bestätigung der Ansicht bringen, daß die Sonnenbestrahlung diese merkwürdige Umwandlung des Kometenspektrums hervorruft. Der große Septemberkomet von 1882 kam der Sonne noch bedeutend näher als der Komet Wells. Als er am 17. September in sehr kurzem Bogen um die Sonne schwenkte, befand er sich nur 1,130,000 km von ihrem Mittelpunkte, 440,000 km von ihrer Oberfläche entfernt, also nur wenig mehr, als die Entfernung des Mondes von uns beträgt. Die strahlende Kraft der Sonne, ihre Licht- und Wärmewirkung mußte dort 16,600mal größer sein als die uns zukommende. Wie ungeheuer dieser Einfluß der Sonnenbestrahlung war, erkannte man an der sonst nie wieder gesehenen Lichtentwickelung des Kometen. Er ging für unseren Standpunkt nicht nur nahe an der Sonne vorbei wie sein Vorgänger, der Komet Wells, sondern passierte sogar ihre Scheibe, ein bisher niemals beobachteter Vorgang. Am 17. September verfolgten die Astronomen der Kapsternwarte und von Cordoba in Argentinien den Kometen, wie er immer näher an die Sonnenscheibe trat und doch dabei so hell blieb, daß er im Fernrohr auf das deutlichste in Regionen zu sehen war, in denen niemals zuvor irgend ein Gestirn auch nur annähernd genügende Leuchtkraft besessen hatte, um mit der Sonne konkurrieren zu können. Als nun der Komet über den Rand der Sonne trat, geschah etwas wie ein Wunder: das noch eine Sekunde vorher so hell leuchtende Gestirn verschwand vollständig und war während seines Vorüberganges vor der Sonne, dessen Weg man auf das genaueste kannte, auch nicht als geringste helle oder dunkle Spur zu

erkennen. Der Komet besaß also genau die gleiche Helligkeit wie die Sonne. Dagegen trat der Komet am anderen Rande wieder unversehrt hervor. Die Erscheinung war so überraschend, daß Gould in Cordoba meinte, der Komet sei hinter der Sonne vorübergegangen, was aber erst einige Stunden später geschah, als der Komet sein Perihel durchrast hatte. Die untenstehende Zeichnung gibt den scheinbaren Lauf in den Nachmittagsstunden des 17. September wieder. Die Zeiten gelten für den Meridian von Berlin. Die Bezeichnungen $v = -120^0$ und $+120^0$ beziehen sich auf die sogenannten wahren Anomalien des Kometen, deren Bedeutung später erklärt werden wird. Es folgt aus ihnen, daß dieses wunderbare Gestirn in der Zeit von 1 h 44 m bis 11 h 5 m, von dem Mittelpunkte der Sonne aus gesehen, einen Bogen von zweimal 120 Grad durchlief. Als sich nun der Komet noch weiter von der Sonne entfernte, wurde er für einige Tage unsichtbar, weil sein Licht so



Scheinbarer Lauf des großen Septemberkometen von 1882 in der Nähe seines Perihels. Nach Kreutz.

bedeutend abnahm, daß er am Tageshimmel nicht mehr wahrzunehmen war; als ihn sein Lauf dagegen dem Morgenhimmel entgegenführte, sah man ihn mit einem fast ganz geradlinigen ungeheuern Schweif geziert.

Am 18. September beobachtete zuerst Thollon in Nizza das Spektrum des damals nur drei Grad westlich von der Sonne befindlichen Kometen. Es zeigte nicht nur sehr intensiv die doppelte D-Linie, sondern noch eine größere Anzahl anderer heller Linien, von denen einige als die des Eisens zu identifizieren waren; durch das Ganze aber zog sich ein leuchtendes kontinuierliches Spektrum. Da die Beobachtung am Tage und so nahe bei der Sonne ausgeführt wurde, war das gewöhnliche Sonnenspektrum mit seinen Fraunhoferschen Linien zugleich mit sichtbar. In demselben erscheint auch die D-Linie, aber dunkel. Es fiel nun Thollon sofort auf, daß die beiden dunkeln Linien nicht mit den beiden hellen zusammenfielen. Die Größe der Verschiebung konnte in diesem Fall ohne Anwendung besonderer Hilfsmittel leicht bestimmt werden, indem man sie mit dem Abstande der beiden D-Linien verglich. Nun erinnern wir uns aus unseren Betrachtungen über die Spektralanalyse (S. 58), daß eine solche Verschiebung eine Bewegung der Lichtquelle verrät. Eine Verschiebung um den Betrag der Entfernung beider D-Linien entspricht einer Bewegung von 305 km in der Sekunde; die Vergleichung ergab, daß der Komet sich damals zwischen 61 und 76 km

in der Sekunde von uns entfernt habe. Diesen Betrag bestimmte seiner Zeit Thollon, ohne von der wahren Bahn des Gestirnes irgendwelche Kenntnis zu haben. Die Rechnung ergab später, daß die Bewegung in der Tat fast genau 76 km pro Sekunde betrug. Sobald der Komet sich wieder weiter von der Sonne entfernte, blaßte die Natriumlinie mehr und mehr ab, während das gewöhnliche Spektrum an Deutlichkeit zunahm. Nach dem 7. Oktober war jede Spur der hellen Linien verschwunden.

Nach diesem großen Kometen ist zwar 1887 noch ein ähnlicher erschienen, der der Sonne vielleicht sogar noch etwas näher gekommen ist; er war aber leider nur auf der südlichen Erdhalbkugel ganz kurze Zeit hindurch sichtbar, so daß sein Spektrum nicht untersucht worden ist. Es ist deshalb seither die Natriumlinie bei keinem Kometen wieder gesehen worden, außer in einem zweifelhaften Falle bei dem periodischen Gestirne von Pons-Brooks (1884 I), bei dem Vogel zuweilen die D-Linie aufblitzen zu sehen glaubte, als der Komet bei dem schon früher erwähnten Pulsieren seiner Lichtintensität besonders hell aufleuchtete.

Beim Durchgang durch das Perihel erlitt aber der große Septemberkomet von 1882, mit dem wir uns vorhin beschäftigt haben, offenbar ganz erhebliche innere Störungen, so daß man ihn bald darauf in eine größere Anzahl von Stücken, Nebelfetzen, zerfallen sah, die sich allmählich immer weiter von der Hauptmasse entfernten. Zuerst zerriß der Kern am 2. Oktober in zwei, später noch in mehrere Stücke (am 18. Oktober sah Tempel in Florenz vier Kerne); dann flogen, nachdem sich der Komet in das früher erwähnte (S. 209; Tafel I, Fig. c, bei S. 208) eigentümliche Nebelrohr gesteckt hatte, verschiedentlich Nebelmassen von ihm ab und begleiteten den Hauptkometen in immer größer werdender Entfernung. Am 9., 10. und 11. Oktober sah Schmidt in Athen neben dem Kometen solche Wolkengebilde, am 14. Oktober bemerkte Barnard, am 21. Oktober Brooks noch weitere ähnliche Bildungen. Bredichin, Zelbr, Hepperger haben Bahnen dieser sekundären Körper berechnet und dabei zwar gefunden, daß sie einen ganz ähnlichen Weg wie der große Komet gingen, aber sie haben zugleich feststellen können, daß diese Bahnen unter sich keinen Punkt gemeinsam haben. Man muß also annehmen, daß während der Sonnennähe des großen Kometen unberechenbare Vorgänge diese Nebelmassen aus der normalen Bahn ihres Mutterkörpers geschleudert hatten.

Daß bei so ungemein großer Annäherung an den glühenden Sonnenball wohl außergewöhnliche Wirkungen eintreten können, läßt sich begreifen, wenn man bedenkt, daß der Sonnenkörper bis in diese Entfernungen hinaus seine mächtigen Eruptionen glühender Gase, die Protuberanzen, schickt. Das Zeugnis des Spektroskopes stellt es außer Zweifel, daß die Kometen aus materiellen Bestandteilen aufgebaut und nicht nur etwa optische oder elektrische Phänomene sind, woran man eine Zeitlang ernstlich gedacht hatte. Man kann, wie wir sahen, sogar die Art des kometarischen Stoffes angeben. Dasselbe gilt von jenen Ausbrüchen der Sonne, durch die der Septemberkomet von 1882 und noch zwei andere sonnennahe Kometen mit ungeheuerer Geschwindigkeit hindurcheilten. Von diesen Gestirnen hatte das zwei Jahre vorher auf der Südhalbkugel erschienene (1880 I) sich der Sonne noch viel mehr genähert als das von 1882. Es befand sich am 27. Februar bei seinem Periheldurchgange nur noch 185,000 km von der Oberfläche des Sonnenballes entfernt, also nur um die Hälfte unserer Mondentfernung, und raste in der ersten Minute nach dem Periheldurchgang mit der unfaßbaren Geschwindigkeit von durchschnittlich 540 km in der Sekunde um dasselbe herum, also tausendmal schneller, als unsere schnellsten Geschosse fliegen. Für



das andere verwandte Gestirn von 1843 fand Plantamour sogar eine erste Bahn, die es unter der Oberfläche der Sonne vorübergeführt hätte. Stellte sich diese Rechnung auch infolge ungenauer Positionsangaben des beobachteten Kometen als nicht zutreffend heraus, so erwies sich doch die Annäherung an die Sonne in diesem Falle noch immer etwas beträchtlicher als die der vorhin genannten. Diese drei Kometen, zusammen mit dem erwähnten von 1887 I und einem anderen von 1680, die auch sonst eine sehr große, sogleich näher zu behandelnde Verwandtschaft miteinander zeigen, stehen mit ihrer großen Annäherung zur Sonne in der Geschichte der Kometenerscheinungen vereinzelt da, und höchstens könnte man den Aristotelischen Kometen von 372 v. Chr., über den einige Angaben vorliegen, die einer immerhin sehr unsicheren Rechnung zugrunde gelegt werden konnten, mit zu dieser merkwürdigen Gruppe zählen.

Je größer aber die Geschwindigkeit ist, mit der ein materieller Körper einen anderen durchdringt, um so mächtiger ist auch der Widerstand, den dieser der Bewegung entgegensetzt. Nun ist es eines der größten Rätsel, welche die wunderbaren Himmelskörper den Forschern aufgeben, daß ihre Bewegung während ihres Durchganges durch diese sonnennahen Regionen, die zweifellos mit Gasen und selbst festen Materieteilen erfüllt sind, doch keinerlei bemerkbare Verzögerung erfahren. Wir müssen, um die bei Erörterung dieser Frage in Betracht kommenden Verhältnisse verstehen zu können, einiges über die Eigenschaften der Bahnen dieser Himmelskörper aus dem zweiten Hauptabschnitte dieses Werkes vorwegnehmen.

Alle Himmelskörper, deren Bahnen überhaupt mit Sicherheit zu ermitteln waren, bewegen sich in Ellipsen, Hyperbeln oder Parabeln um ein Massenzentrum, im Falle der Planeten und Kometen um die Sonne. Von den Eigenschaften dieser drei Gruppen von Bahnlinien interessiert uns hier zunächst nur, daß von ihnen allein die Ellipse eine geschlossene Form besitzt, so daß ein in solcher Linie sich bewegender Körper periodisch immer wieder denselben Standpunkt zu dem von ihm umkreisten Zentrum einnehmen muß. Es ist bekannt, daß die Planeten sich in solchen Ellipsen um die Sonne bewegen. Hyperbel und Parabel haben die Eigenschaft gemeinsam, daß ein in ihnen einhergehender Körper nur einmal das Zentrum umkreist, das seine Bewegung veranlaßt hat; solche Körper kommen für uns scheinbar aus der Unendlichkeit und kehren auch wieder in diese zurück. Von allen Himmelskörpern können nur die Kometen in allen drei Arten von Bahnen einhergehen, wie denn diese Wesen fast alle Eigenschaften in sich vereinigen, die man an irgendwelchen anderen Himmelskörpern jemals beobachtet hat. Die bei weitem überwiegende Anzahl der Kometenbahnen sind Parabeln, während nur sehr wenige deutlich ausgeprägte Hyperbeln sich in den Bahnverzeichnissen befinden; unter der ganzen Schar zählt man deren kaum mehr als ein halbes Dutzend. Elliptische Kometenbahnen gibt es dagegen einige siebzig, die zweifelhaften Fälle abgerechnet. Diese Gestirne müssen also in bestimmten Zeitintervallen wieder zur Sonne zurückkehren, obgleich dies nicht von allen auch wirklich beobachtet worden ist.

Die verschiedenen Bahnformen sind durch die Beobachtungen meist in unzweideutiger Weise zu bestimmen, ebenso die Lage der Bahnen in bezug auf feste Ebenen und die Geschwindigkeiten, mit denen sich die Kometen zu einer gegebenen Zeit bewegten. Um nun zu entscheiden, ob zwei zu verschiedenen Zeiten beobachtete Kometen miteinander identisch sind, wird man, da bei der Veränderlichkeit des äußeren Aussehens dieser Gestirne auf die etwaige Übereinstimmung im Aussehen als Anhaltspunkt für die Identitätsfrage nicht das

mindeste Gewicht gelegt werden kann, zunächst die elliptische Natur ihrer Bahnen festgestellt haben müssen, ferner müssen die Bahnen beider Erscheinungen im Raume innerhalb der Unsicherheitsgrenzen der Berechnung zusammenfallen, und endlich muß nachgewiesen werden, daß die Geschwindigkeit beider Kometen oder ihre Umlaufszeit dem Intervalle zwischen beiden Erscheinungen entspricht.

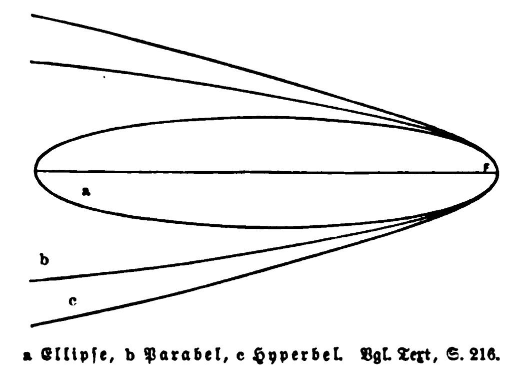
Mit der Entscheidung über die Identität des großen Septemberkometen von 1882 mit anderen vorher oder später erschienenen hängt aber die Frage nach dem etwaigen Widerstande, den die obersten Schichten der Sonnenatmosphäre der Bewegung dieser Gestirne entgegenstellten, eng zusammen, da dieser Widerstand die Bahnellipse verkleinern, die Wiederkunft des Gestirnes zur Sonne also beschleunigen müßte.

Wir greifen, im Hinblick hierauf, zu dem großen Südkometen von 1880 zurück. Dieser wurde am 31. Januar zugleich von vielen Bewohnern der Südhalbkugel mit freiem Auge gesehen, aber es war zunächst nur sein etwa 40 Grad langer Schweif in der Abenddämmerung aufgetreten, während sich der Kopf offenbar in allernächster Nähe der Sonne verbarg. Selbst am 3. Februar konnte Gill von der Kapsternwarte an den Königlichen Astronomen in Greenwich nur schreiben: „We have a comet by the tail, and I am sorry to say that we only have him by the tail still.“ (Wir haben einen Kometen beim Schwanze, und ich muß leider hinzufügen, daß wir ihn immer noch nur beim Schwanze haben.) Erst am 5. Februar gelang es Gould in Cordoba (Argentinien), den Kopf zu sehen und seine Position zu bestimmen. Der Kern war ziemlich ausgedehnt und verwaschen, so daß die Messungen sehr unsicher blieben. Der Komet nahm schnell an Helligkeit ab und war am 19. Februar bereits für die Fernrohre der Südsternwarten unerreichbar geworden; diesseits des Äquators ist er dementsprechend überhaupt nicht sichtbar gewesen. Die Rechnung ergab nun, daß das Gestirn während dieser kurzen vierzehn Tage seiner Sichtbarkeit im Raume von der Sonne weg beinahe eine gerade Linie durchlaufen hatte. Diese gerade Linie fiel fast genau mit einem Teile der Bahn des großen Kometen von 1843 zusammen. Es tauchte also sofort die Frage auf, ob beide Gestirne wohl identisch seien. Letzteres Gestirn war, wie das früher mehrfach erwähnte von 1882, in unmittelbarer Nähe der Sonne am 28. Februar 1843 am Tageshimmel aufgetaucht, und es gelang damals sogar, eine Positionsbestimmung vorzunehmen. Abends konnte es am 4. März zuerst wieder auf der Kapsternwarte beobachtet werden; dann nahm ebenso wie bei der Erscheinung von 1880 der gleichfalls 40 Grad lange, fast ganz gerade gestreckte Schweif schnell an Länge und Helligkeit ab, bis das Gestirn am 19. April verschwunden war. Die Zeitdauer der Sichtbarkeit war also 1843 größer als 1880 und dementsprechend die Bahn sicherer zu ermitteln, denn es ist natürlich leichter, beispielsweise eine Ellipse aus einem größeren von ihr bekannten Stücke zu ergänzen als aus einem kleineren.

Aus dem Umstande, daß die von beiden Bahnen bekannt gewordenen Stücke zusammenfielen, konnte in diesem Falle noch nicht auf die Übereinstimmung auch der übrigen Teile der Bahnen geschlossen werden, da die bekannten Stücke leider so klein waren, daß man sie in der verschiedensten Weise vervollständigen konnte, wie die Zeichnung auf S. 217 veranschaulichen mag. Wir haben darauf eine Ellipse, eine Parabel und eine Hyperbel so nebeneinander gelegt, daß ihre in der Nähe des gemeinsamen Brennpunktes (F) befindlichen Zweige zusammenfallen. Nur in diesen zusammenfallenden Teilen aber konnten jene Kometen beobachtet werden. Die Identitätsfrage wäre dagegen sofort entschieden

gewesen, wenn aus den Beobachtungen beider Erscheinungen eine Umlaufszeit von etwa 37 Jahren, die zwischen ihnen lagen, hätte gefolgert werden können. Das aber gelang nicht. Auch die Annahme eines Widerstand leistenden Mittels in jener großen Sonnennähe, durch das die Umlaufszeit dauernd verkürzt worden wäre, führte zu unüberwindlichen Widersprüchen.

Der 1882 erschienene große Komet gab dagegen eine überraschende Lösung der verwickelten Frage. Er lief genau in derselben Bahn einher wie die von 1880 und 1843, beziehungsweise auch die von 1668 und 372 v. Chr., und sein Aussehen war ebenfalls von der gleichen Art. Die Möglichkeit aber, daß dieser Komet mit dem von 1880 identisch wäre, mußte ganz ausgeschlossen werden. Denn einmal war es unmöglich, die Beobachtungen von 1880, die sämtlich nach dem Perihel, also nach dem gesuchten Einfluß angestellt worden waren, mit einer so kleinen Ellipse von etwa 2½ Jahren Umlaufszeit in Einklang zu bringen, und anderenteils ergaben auch die 1882er Beobachtungen eine bedeutend größere Umlaufszeit, die im letzteren Falle mit viel größerer Sicherheit als bei den vorher erschienenen Kometen der fraglichen Gruppe zu ermitteln war, weil die Erscheinung bedeutend länger sichtbar blieb. Die erste Ortsbestimmung dieses merkwürdigsten aller Kometen wurde am Morgen des 8. September 1882 auf der Kapsternwarte gemacht, die letzte in Cordoba am 1. Juni 1883. Er konnte also auf einem verhältnismäßig langen Wege sowohl vor seiner Sonnennähe wie nach ihr verfolgt werden. Daß sehr wichtige Beobachtungen desselben glückten, während er diese Sonnennähe gerade passierte und dabei am hellen Tage selbst für das bloße Auge intensiv leuchtete, erwähnten wir bereits.



a Ellipse, b Parabel, c Hyperbel. Vgl. Text, S. 216.

Die sorgfältig durchgeführten Rechnungen von Kreutz in Kiel über die Bewegung dieses Kometen ergaben seine Umlaufszeit zu 772 Jahren, mit einer theoretischen Unsicherheit von kaum mehr als drei Jahren auf oder ab. Die Annalen berichten nun von einem Kometen vom Jahr 1106, der also 776 Jahre hinter dem 1882er zurückliegt, und der wie er am 4. oder 5. Februar des genannten Jahres am hellen Tage dicht bei der Sonne gesehen worden ist. Auch die übrigen europäischen wie chinesischen Mitteilungen, die man von diesem Gestirn besitzt, ließen sich zur Not mit der Bahn von 1882 vereinigen. Es wäre also die Identität dieser beiden Erscheinungen nicht ausgeschlossen; aber die Kometen von 1880, 1843, 1668 u. s. w. können unter keinen Umständen mit dem von 1882 identisch sein.

Damit war nun die merkwürdige Tatsache erwiesen, daß in ein und derselben Bahn oder doch in sehr nahe übereinstimmenden Bahnteilen nacheinander verschiedene Kometenindividuen ihre Straße ziehen können. Dies wurde sehr bald darauf noch weiter durch den Kometen 1887 I bestätigt, der wieder in derselben Bahn ganz nahe an der Sonne vorüberflog. Wir können im ganzen neun Erscheinungen von Kometen nachweisen, von denen vier sicher, fünf andere wahrscheinlich in fast gleichen Bahnen liefen, von denen aber nur zwei, höchstens drei Individuen wirklich identisch waren. Wenn man die theoretische Unsicherheit der Umlaufszeit des Kometen 1882 praktisch auf etwa 20 Jahre ausdehnt, was

in dem außergewöhnlichen Falle wohl gestattet ist, so liegt der sogenannte Aristotelische Komet, der sicher auch sehr nahe bei der Sonne vorüberging, drei Umläufe hinter 1882 zurück. Die übrigen acht Erscheinungen sind die von 1106, 1668, 1680, 1843, 1880, dann der bei der Sonnenfinsternis im Mai 1882 gesehene problematische Komet Chedive, endlich der Hauptkomet der Gruppe aus dem letzteren Jahre und der von 1887.

Ein zufälliges Sichdecken einer so großen Anzahl von Kometenbahnen war begreiflicherweise von vornherein unwahrscheinlich; es wäre nicht zu verstehen, wie die Natur, der die unendlichen Räume des Universums zu Gebote stehen, ohne besondere Ursache, also ohne daß die betreffenden Erscheinungen miteinander in innerem Zusammenhange ständen, verschiedenen Weltkörpern denselben Weg vorgeschrieben haben könne. Wir werden später noch sehen, wie dies ganz und gar den Prinzipien zuwiderläuft, die im übrigen den Bau des Weltalls beherrschen, in dem die Stabilität des Ganzen soviel wie möglich dadurch gesichert ist, daß ungeheuere Räume zwischen die gleichartigen Himmelskörper gelegt sind. Der 1882er Komet hat nun die Lösung des Problems direkt vor Augen gestellt. Wir haben schon oben gesehen, daß sich Teile von ihm ablösten und allerdings mit etwas verschiedener Geschwindigkeit neben ihm hergingen. Diese Teile hatten meist deutlich unterschiedene Kerne, verhielten sich also wie selbständige Kometen. Auch der Kern des Hauptkometen spaltete sich in vier Teile (s. die beigeheftete Tafel, Fig. f; ein anderer Zustand desselben Kometen ist in Fig. h derselben Tafel dargestellt), von denen mindestens einer neben dem Hauptkern seine eigene Haube und seinen Schweif für sich entwickelte, so daß selbst der Hauptkomet sich seiner ganzen Länge nach in zwei Individuen zerspalten hatte, die nahezu, aber nicht völlig, denselben Weg am Himmel beschrieben. Die Entfernung aller dieser Teile untereinander nahm beständig zu, und wenn der Hauptkomet nach ca. 770 Jahren zur Sonne zurückkehren wird, so sind diese Nebenkometen schon um ein so beträchtliches Stück von ihm abgewichen, daß sie viele Jahre vor oder nach ihm die Sonnennähe passieren müssen, wie es die Kometen von 1880, 1843 u. s. w. taten. Es ist also kaum noch daran zu zweifeln, daß alle diese Gestirne einstmals *ein einziges* bildeten, das durch die unvorstellbar gewaltige Einwirkung der Sonnenstrahlung in so ungewöhnlicher Nähe vielfach zerrissen wurde und nun den Inhalt seines Körpers mehr und mehr über seine Bahn ausstreut. Neuere Rechnungen von Kreutz über jene ganze Gruppe von Kometen haben gezeigt, daß die Bahnen der Erscheinungen von 1843 und 1882 in ihrem Perihel eine Stelle gemeinsam haben, in der sie sich bis auf 300,000 km nähern würden, wenn sie das Perihel gleichzeitig passierten. Ähnliches kann man auch mit allerdings geringerer Sicherheit vom Kometen 1880 nachweisen. Hier scheint es also, daß sich ein ursprünglicher Komet *einmal* in einzelne Stücke zerspalten hat, wie wir es ja an dem 1882er Kometen bereits gesehen hatten. Die einzelnen Teile haben sich dann immer mehr voneinander getrennt.

Beispiele von gezweiteilten Kometen haben wir schon angeführt (Liais, Biela); aber es sollte noch zwischen der Erscheinung von 1880, welche die Frage aufrollte, und der von 1882, die sie entschied, im Sommer 1881 ein Komet auftreten, der entschiedener, als dies sonst irgendwie geschehen konnte, das Vorhandensein von *paarweise* erscheinenden Kometen illustrieren mußte, deren Individuen in ihrer gemeinschaftlichen Bahn um viele Jahre voneinander abstehen. Das 1881er Gestirn wurde während mehrerer Monate beobachtet, und seine Ortsbestimmungen waren wegen des deutlichen sternartigen Kernes, der es auszeichnete, von außergewöhnlicher Genauigkeit. Die 423 Beobachtungen, die zur

Köpfe von Kometen.

a. Kopf des Halleyschen Kometen, gezeichnet von Schwabe am 15. Oktober 1835.

b. Enckescher Komet, gezeichnet von Schwabe am 12. November 1838.

c, d, e. Kopf des Kometen 1881 III, gezeichnet von M. Thury am 10zölligen Refraktor der Sternwarte zu Genf am 26., 27. und 28. Juni 1881.

f. Kopf des großen September-Kometen von 1882, gezeichnet von William Winlock am 26zölligen Refraktor zu Washington am 3. März 1883.

g. Der doppelte Komet Biela, gezeichnet von Struve am 19. Februar 1846.

h. Kopf des großen September-Kometen von 1882, gezeichnet von William Winlock am 10zölligen Refraktor zu Washington am 9. Oktober 1882.

KÖPFE VON KOMETEN

Köpfe von Kometen.

a. Kopf des Halleyschen Kometen, gezeichnet von Schwabe am 15. Oktober 1835.

b. Enckescher Komet, gezeichnet von Schwabe am 12. November 1838.

c, d, e. Kopf des Kometen 1881 III, gezeichnet von M. Thury am 10zölligen Refraktor der Sternwarte zu Genf am 26., 27. und 28. Juni 1881.

f. Kopf des großen September-Kometen von 1882, gezeichnet von William Winlock am 26zölligen Refraktor zu Washington am 3. März 1883.

g. Der doppelte Komet Biela, gezeichnet von Struve am 19. Februar 1846.

h. Kopf des großen September-Kometen von 1882, gezeichnet von William Winlock am 10zölligen Refraktor zu Washington am 9. Oktober 1882.



KÖPFE VON KOMETEN.

Bahnbestimmung vorlagen, ergaben eine Umlaufszeit von 2954 Jahren, ein Resultat, das theoretisch nur um wenige Jahre unsicher ist. Nun aber zeigen die übrigen Eigenschaften und die Lage der Bahn sehr große Ähnlichkeit mit der des großen Kometen von 1807, der gleichfalls sehr lange und gut beobachtet werden konnte, und dessen Bahnbestimmung zu den klassischen Arbeiten Bessels gehört. Die 74 Jahre Zwischenzeit lassen sich aber unter keiner Bedingung mit den Beobachtungen in Einklang bringen; außerdem fand Bessel für die Erscheinung von 1807 eine Umlaufszeit von 1713 Jahren. Schon die Verschiedenheit dieser Umlaufszeiten zeigt, daß die Bahnen von 1807 und 1881 nicht völlig übereinstimmen: die Ellipsen sind einander nur ähnlich, auch was ihre Lage im Raume betrifft. Dasselbe gilt von der vorhin ausführlich behandelten Kometengruppe. Es ist nach dem Vorangegangenen selbstverständlich, daß bei der gewalttätigen Zerspaltung in der Sonnennähe die entstehenden Nebenkometen mehr oder weniger von der ursprünglichen Richtung abweichende Wege einschlagen müssen.

Durch diesen Nachweis des Vorhandenseins von Kometengruppen waren die Anhaltspunkte für oder wider den problematischen Widerstand der Gase in der Sonnennähe hinfällig geworden. Ja, es war mit Sicherheit zu zeigen, daß die Bahn des Kometen von 1882 vor wie nach seinem Periheldurchgang ein und derselben großen Ellipse von ca. 800 Jahren Umlaufszeit angehörte, daß also seine Bewegung keine Spur eines etwaigen Widerstandes der gasigen Umhüllung der Sonne, die der Komet damals mit so großer Geschwindigkeit durchjagte, erkennen läßt.

Dagegen schien es, als ob ein anderer Komet, der der Sonne bei weitem nicht so nahe kam, regelmäßige Verzögerungen erlitt, die durch den Widerstand eines den Weltraum erfüllenden Mediums zu erklären wären, jenes Weltäthers, der schon als Träger des Lichtes und der übrigen das Weltall durchstrahlenden Wirkungen notwendig vorhanden sein muß. Es ist der periodische Komet von Encke, ein an sich unscheinbares Gestirn, das alle $3\frac{1}{3}$ Jahre zur Sonne zurückkehrt und seit 1786 bei 29 seiner Wiederkünfte beobachtet werden konnte (s. die beigeheftete Kometentafel II, Fig. b). Encke, der 1822 zuerst die Periodizität des Gestirnes entdeckte, wies durch umfangreiche Rechnungen nach, daß es trotz der sorgfältigsten Berücksichtigung aller bekannten Einwirkungen nicht möglich sei, die Bewegung des Kometen mit dem sonst allgemein befolgten Gesetze der Schwerkraft ganz in Einklang zu bringen. Die erwiesene Verkürzung der Umlaufszeit schien gleichmäßig mit der Zeit fortzuschreiten und hätte infolgedessen wohl dem problematischen Weltäther zugeschrieben werden können. Aber auch hier ergab die fortgesetzte Verfolgung des Gestirnes ein negatives Resultat. Backlund, der sich nach Enckes, resp. Astens Tode der schwierigen und namentlich auch sehr langwierigen Aufgabe der Neubearbeitung des gesamten Beobachtungsmaterials unterzog, fand schließlich, daß der Komet wohl zwischen 1819 und 1858 regelmäßig in dem bewußten Sinne beeinflußt gewesen zu sein scheint, in dem er sich bei jedem seiner Umläufe gegen 3 Stunden verfrühte und dabei jedesmal der Sonne um 18,000 km näher rückte, daß jene rätselhafte Wirkung indes seitdem aufgehört oder doch merklich abgenommen habe. Als z. B. das Gestirn 1881 der Vorausberechnung gemäß wieder erschien, befand es sich zuerst 40 Sekunden hinter dem mit Beachtung der Einwirkung eines widerstehenden Mittels vorausberechneten Ort zurück, ein Fehler, der sich später noch bedeutend vergrößerte. Zwischen 1871 und 1891 trat dann zwar wieder eine Verzögerung ein, aber sie betrug nur zwei Drittel des früheren Wertes. Man mußte nun wohl zugeben, daß andere, nur

zeitweilig wirkende Hindernisse sich der Bewegung dieser und anderer Kometen entgegenstellten. So hat in jüngster Zeit der periodische Komet von Faye, der bis dahin zu den pünktlichsten seiner Gattung gehörte, einige Sprünge gemacht, die man sich vorläufig noch nicht zu erklären vermag. Auf den ebenfalls in dieser Hinsicht verdächtigen Kometen von Brorsen kommen wir noch zu sprechen. Nach v. Hepperger zeigte auch der mehrfach erwähnte Komet von Biela zwischen 1805 und 1826 eine regelmäßige Verzögerung von 1,3 Tag bei jedem Umlauf, die sich 1832 bis 1846 auf 1,1 Tag verminderte. Dagegen konnte man bei zwei anderen Kometen mit ähnlichen Umlaufszeiten, die besonders genau untersucht werden konnten, nicht die geringsten Abweichungen vom strengen Gesetz der Gravitation entdecken. Es sind dies die Kometen von Winnecke und Wolf, der erste wurde von v. Haerdtl, der zweite von Pfarrer Thraen bearbeitet.

Daß übrigens nicht alle Kometen, die daraufhin untersucht werden konnten, Spuren solcher Verzögerung zeigten, wäre nicht auffällig gewesen, da seiner Natur nach der Einfluß des Weltäthers auf verschiedene Individuen ganz verschieden ist. Der Widerstand mußte sich etwa so wie die Verzögerung des Falles von Körpern in unserer Luft verhalten; jedermann aber weiß, daß eine Feder viel langsamer fällt als etwa eine Kanonenkugel, während doch im luftleeren Raume beide genau gleich schnell fallen. Auf einen je kleineren Raum ein Körper seine Masse verteilt, desto weniger wird sich der Luftwiderstand geltend machen. Man kann also durch die Beobachtung der Verlangsamung des Falles eines Körpers sein spezifisches Gewicht bestimmen, woraus man auch das wirkliche Gewicht mit Leichtigkeit abzuleiten vermag, wenn man die Raumausdehnung des Körpers kennt. Derartige Bestimmungsmethoden aber, die optisch, d. h. ohne in Berührung mit dem zu untersuchenden Körper zu kommen, ausgeführt werden können, interessieren den Astronomen immer in hohem Grade, da sie unter Umständen auf die Gestirne anwendbar werden. Daß die Planeten von einem solchen Widerstande der vermuteten „Himmelsluft" nichts durch ihre Bewegungen verraten, erklärt sich zur Genüge aus ihrem verhältnismäßig großen spezifischen Gewicht das anderweitig mit aller Präzision festzustellen war. Aber auch die ganz ungemein leichten Kometen lassen solchen Einfluß nicht mit Sicherheit erkennen.

Daß die Kometen wirklich sehr leichte Körper sind, dafür müssen wir den Beweis bis zu unseren theoretischen Erörterungen im zweiten Teile dieses Buches schuldig bleiben, um nicht noch weitere Übergriffe in dessen Bereich zu tun. Hier kann nur angeführt werden, daß die verschiedenartigsten Versuche gemacht worden sind, die Masse der Kometen zu bestimmen, daß man aber immer zu dem Resultat gekommen ist, sie seien für unsere astronomischen Methoden ganz unwägbar leicht. Babinet nannte sie deshalb sehr bezeichnend „des riens visibles".

Daß anderseits diese Wesen aus Stoffen bestehen, die bei uns vorkommen und in unseren Laboratorien keineswegs unwägbar sind, hat das Spektroskop unwiderleglich nachgewiesen. Es schien sogar in einem Falle möglich, durch die direkte Beobachtung etwas über die Dichtigkeit der den Kern unmittelbar umgebenden Gase zu erfahren. Der Julikomet von 1881 bewegte sich ganz nahe vor Fixsternen vorbei, die durch die Nebelmassen seines Kopfes hindurch ihr Licht zu uns herabschickten. Verhielten sich die den Kern umgebenden Gase nach den in unseren physikalischen Laboratorien erkannten optischen Gesetzen, so mußten sie das durchdringende Sternenlicht von seinem geraden Weg ablenken, denn es gibt auf der Erde keine noch so durchsichtige Substanz, die nicht diese lichtbrechende Wirkung zeigte.

Deren Größe aber hängt einerseits von der Art der Substanz, anderseits von ihrer jeweiligen Dichtigkeit ab. Um nun eine solche Ablenkung eventuell festzustellen, machte der Verfasser an jenen drei Abenden eine größere Anzahl von möglichst genauen Messungen der wechselnden Distanz zwischen Kometenkern und den davon bedeckten Fixsternen. Die rechnerische Behandlung dieser Messungen nach einer zu diesem besonderen Zwecke von G. Cellérier entwickelten Theorie sprach für das Vorhandensein einer solchen „kometarischen Refraktion". Bei einer ähnlichen Untersuchung an einem anderen Kometen fand jedoch Perrine auf der Lick-Sternwarte keine Spur einer Lichtbrechung. Auf jeden Fall sehen wir, daß die Kometen, obgleich an Ausdehnung die bei weitem größten Körper unseres Sonnensystems, doch so leicht gebaut sind, daß sie in dem Konzert der ineinandergreifenden Kräfte des Universums keine irgendwie merkliche Rolle spielen. Man konnte unter gewissen Voraussetzungen ableiten, daß mindestens 23,000 dieser Kometen erst eine Erdmasse, 290 einen Erdmond, 120 den ersten Jupitersatelliten ausmachen würden. Sie beeinflussen die Bewegungen der permanenten Himmelskörper überhaupt nicht, werden dagegen von diesen ihrerseits oft so erheblich von ihrem Weg abgelenkt, daß ihre ursprünglich parabolischen Bahnen sich in Ellipsen verwandeln, sie selbst also zu periodischen Kometen werden.

Diese nehmen begreiflicherweise das besondere Interesse der Astronomen in Anspruch, da sie ständige Glieder des Sonnenreiches wurden. Nennt man konsequent alle elliptischen Kometen periodische, so muß man sie in drei Kategorien ordnen, nämlich in Kometen mit sehr großen Ellipsen, die sie erst in vielen Jahrhunderten oder gar Jahrtausenden zur Sonne zurückführen, zweitens in solche mit kleineren Umlaufszeiten, die aber trotzdem noch nicht während einer zweiten Wiederkehr beobachtet werden konnten, und endlich in die eigentlichen periodischen Kometen, die wiederholt der Rechnung gemäß in ihren Sonnennähen gesehen worden sind. Die erste Klasse bildet ein Übergangsgebiet, denn es ist in vielen Fällen unsicher, welche Individuen man noch dazu rechnen soll. Bei sehr großen Ellipsen wird die Rechnung immer unsicherer, weil die unvermeidlichen Beobachtungsfehler, mit immer größerem Faktor multipliziert, auf die Bestimmung der Umlaufszeit einwirken. Einige interessante Repräsentanten dieser Gruppe haben wir bereits kennen gelernt, die zugleich mit Sicherheit als elliptisch erkannt wurden; es sind die Kometen von 1807, 1881, 1882 u. s. w. Im allgemeinen aber nimmt diese Art von Kometen kein wesentlich größeres Interesse als die parabolischen in Anspruch, von denen man übrigens aus später zu erörternden Gründen glaubt, daß sie alle in Wirklichkeit sehr lange Ellipsen besitzen, die sich nur für uns auf dem kleinen, von uns verfolgbaren Wege von Parabeln nicht unterscheiden lassen. Danach gehören also die bei weitem meisten Kometen unserem Sonnensystem an und müssen periodisch wiederkehren.

Auch für die zweite Kategorie ist es schwer, eine bestimmte Grenze anzugeben, bis zu der man die Ellipsen noch als verbürgt annehmen will. Aber es ist hierbei sehr auffällig, daß unter diesen Gestirnen die mit verhältnismäßig geringen Umlaufszeiten stark vorherrschen. Es gibt also sehr viele Kometen, die scheinbar aus der Unendlichkeit zu uns gelangen, ferner sehr wenige, deren größte Entfernung von der Sonne, soweit sie berechnet werden konnte, erheblich größer ist als der Umfang der Neptunbahn, und wieder bedeutend mehr von solchen, deren ganze Bahn nahezu innerhalb der Grenzen unseres Planetensystems liegt. Ferner stellt sich bei näherer Untersuchung die merkwürdige Tatsache heraus, daß fast alle diese

dauernd dem Sonnensystem angehörigen Kometen einen Punkt ihrer Bahn mit einem solchen einer Planetenbahn gemein haben, oder daß doch wenigstens beide Bahnlinien nahezu einander schneiden. Solcher Kometen kennt man 70 mit Einschluß der zur letzten Klasse gehörenden, die also schon wiederholt beobachtet sind. Ordnet man sie nach den Planetenbahnen, die solche gemeinschaftliche Schnittpunkte mit ihnen haben, so kommen auf

Merkur . . .	4	Kometen	Jupiter . . .	23	Kometen
Venus . . .	7	"	Saturn . . .	9	"
Erde	10	"	Uranus . . .	8	"
Mars . . .	4	"	Neptun . . .	5	"

Bis zum Jupiter stehen diese Zahlen merkwürdigerweise ungefähr im Verhältnis zur Größe der Planeten. Daß aber jenseits des Jupiter dieses Verhältnis sich verwischt, kann nicht weiter wundernehmen, wenn man bedenkt, daß Bahnen, die so weit hinausreichen, zum großen Teil auch ihre Sonnennähe ziemlich weit hinausschieben und deshalb von uns in keinem Teil ihrer Bahn mehr gesehen werden können. Wir sind deshalb schon aus dieser Zahlenzusammenstellung zu der Vermutung berechtigt, die Planeten möchten einen gewissen Einfluß auf die Kometen ausüben, derart, daß sie diese in engere Bahnen zwingen. Denn anders kann man sich die Erscheinung nicht erklären, daß fast alle Kometen dieser beiden Klassen solche Schnittpunkte besitzen. Selbst vier Ausnahmen von dieser Regel bestätigen sie unter einer Voraussetzung, die durch anderweitige Gründe einleuchtend zu machen ist. Diese vier Kometen schneiden nämlich die nahezu gemeinsame Ebene der Planetenbahnen alle in einem Abstande von etwa 70 Sonnenentfernungen, also in etwas mehr als dem doppelten Abstande vom Zentrum des Systems, als ihn der äußerste Planet Neptun besitzt. Nach der früher (S. 148) mitgeteilten Bodeschen Regel über die Entfernungen der Planeten könnte wohl ungefähr in diesem Abstande von 70 Einheiten noch ein weiterer Planet existieren, den wir nur wegen zu großer Entfernung nicht mehr sehen können. Diese vier Kometen sind kaum mißzudeutende Fingerzeige auf einen problematischen Weltkörper, den transneptunischen Planeten, der vielleicht später einmal eines der merkwürdigsten Kapitel der „Astronomie des Unsichtbaren" bilden wird.

Wir müssen auch hier wieder späteren Betrachtungen etwas vorgreifen, indem wir diese Gefangennahme der Kometen durch Planeten der allgemeinen Anziehungskraft zuschreiben, die allen Körpern nach Maßgabe ihres Masseninhaltes anhaftet und alle Bewegungen der Himmelskörper beherrscht.

Zwei Weltkörper, deren Bahnen sich schneiden, werden sich nach einer gewissen Anzahl von Umläufen irgendwann einmal gleichzeitig in der Nähe dieses Schnittpunktes befunden haben. Dann wirken sie durch ihre Anziehungskraft aufeinander ein, und Größe und Art dieser Einwirkung läßt sich, wenn die Lageverhältnisse und die Massen der Körper bekannt sind, rechnerisch auf das genaueste bestimmen. Die Theorie ergab in Übereinstimmung mit unserem statistischen Resultate, daß solche Einwirkungen der Planeten auf die Kometen stattfinden müssen, die ihre ursprünglich parabolischen Bahnen in elliptische verwandeln. Nun sind aber von den 70, resp. 74 derart aufgefangenen Kometen nur 18 mit Sicherheit dauernd unserem Sonnensystem einverleibt worden; alle übrigen hat man nicht öfter als einmal in ihrer Sonnennähe beobachtet. Die Gründe dafür sind sehr verschiedener Art. Eine beträchtliche Anzahl dieser Gestirne konnten seit ihrer Entdeckung der Rechnung gemäß noch nicht wiederkehren, eine andere Anzahl war so schwach oder kam bei späteren

Wiedererscheinungen der Erde so viel weniger nahe als bei ihrer Entdeckung, daß ihre Wiederauffindung nicht gelang, obgleich die betreffenden Kometen wohl an dem vorausberechneten Platze sich befunden haben können. Dagegen gibt es auch einige unter ihnen, die unerklärlicherweise vermißt werden, und andere, deren Nichtwiedererscheinen in denselben Einflüssen seine Ursache findet, die sie einst in jene engen Bahnen gezwungen hatten.

Zu diesen letzteren gehört der Komet von Lexell. Derselbe wurde am 14. Juni 1770 von Messier als unscheinbares, dem bloßen Auge nicht sichtbares Gestirn aufgefunden. So verschwand er auch wieder am 2. Oktober desselben Jahres. Bot also der Anblick des Kometen nichts Merkwürdiges dar, so führte doch die theoretische Untersuchung seiner Bahn, an der sich die berühmtesten Rechner jener Zeit wie auch des 19. Jahrhunderts wiederholt beteiligten, zu mancherlei Überraschungen. Zuerst fand Lexell, daß sich die Beobachtungen nicht anders als durch eine Ellipse von 5½ Jahren Umlaufszeit darstellen lassen, ein bis dahin ganz alleinstehendes Resultat, da von den periodischen Kometen damals nur der Halleysche bekannt war, der eine viel größere Ellipse beschreibt. Obgleich die Theorie keine andere Umlaufszeit zuließ, so konnte man sich doch nicht entschließen, ihr Glauben zu schenken, weil der Komet niemals vorher noch nachher wieder gesehen wurde, wiewohl er in jener Bahn der Erde wiederholt ebenso nahe gekommen sein müßte wie zur Zeit seiner Entdeckung.

Um die geheimnisvolle Ursache dieses gänzlichen Verschwindens zu entdecken, haben unter anderen Clausen, Leverrier, Brünnow umfassende Rechnungen angestellt, von denen namentlich die des französischen Forschers, dessen Rechnertalent wir die Entdeckung des Neptun verdanken, Meisterwerke der astronomischen Rechenkunst sind. Dabei zeigte es sich, daß der Komet 3 Jahre vor seiner Entdeckung, also 1767, sehr nahe am Jupiter vorübergekommen war, ja wahrscheinlich mitten durch das System der Jupitermonde geflogen ist und dabei so erhebliche Störungen seines Laufes erfahren hat, daß seine ursprünglich sehr viel größere Bahn, in der er der Erde nicht genügend nahe kommen konnte, um entdeckt zu werden, zu der kleinen tatsächlich berechneten Ellipse umgewandelt wurde. Nachdem der gefangene Himmelskörper wahrscheinlich 1775 in seiner neuen Bahn wieder zur Sonne zurückgekehrt war, ohne von uns bemerkt zu werden, kam er 1779 abermals dem Jupiter außergewöhnlich nahe, und diesmal waren die Störungen, wie sich rechnerisch mit Sicherheit nachweisen ließ, derart, daß die umgekehrte Wirkung wie 1767 eintrat und der Komet abermals in eine große Ellipse und damit aus dem näheren Bereiche der Erde gewiesen wurde. Auch der letzteren kam der Komet näher als jemals ein anderer. Seine Entfernung von uns betrug am 1. Juli 1770 nur 363 Erdhalbmesser oder das Sechsfache der Mondentfernung. Es konnte berechnet werden, daß, wenn der Komet die gleiche Anziehungskraft besessen hätte wie die Erde, er deren Bewegung so erheblich gestört haben müßte, daß ihre Umlaufszeit um die Sonne, also die Länge des Jahres, um nahezu 3 Stunden verändert worden wäre. Da aber gar keine Änderung eintrat, oder doch eine Änderung von mehr als 2 Sekunden in dieser Länge sofort hätte entdeckt werden müssen, so ließ sich zeigen, daß der Komet unter keinen Umständen mehr als den 5000. Teil der Anziehungskraft unserer Erde besaß, wahrscheinlich aber noch viel weniger. Zu dem gleichen Schlusse führte auch der Nachweis, daß der Komet bei seinem zweifachen Besuche des Jupitersystems nicht die mindeste mit unseren Mitteln zu bemerkende Veränderung in den Bewegungen der Satelliten des Jupiter hervorzubringen vermochte. Ähnliche Annäherungen erfuhren noch mehrere andere Kometen: so streifte der Komet Brooks am 16. Juli 1886 fast die Oberfläche des



Jupiter. Dieser letztere Komet wurde 1889 entdeckt und seine Umlaufszeit zu 7 Jahren festgestellt. Die Rückrechnung machte es wahrscheinlich, daß er mit jenem unsteten Lexellschen Kometen identisch sein möge, der abermals in das System des Jupiter geraten war. Komet Brooks kam 1896 und 1903 pünktlich in seine Sonnennähe zurück; man fand jedoch, daß er 1921 nochmals dem Jupiter so nahe kommen wird, daß seine Bahn von neuem vollständig verändert und das Gestirn gänzlich aus dem Sonnensystem verwiesen werden dürfte.

Achtzehn von jenen gefangen genommenen Kometen sind zwar in verschiedenen Wiederkünften zur Sonne der Rechnung gemäß beobachtet worden, aber dennoch haben sich nicht alle ganz folgsam erwiesen. Der berühmteste und in unserer Erkenntnis älteste unter den eigentlichen periodischen Kometen ist der wiederholt erwähnte Halley sche. Er hat zugleich die größte Umlaufszeit (von 76⅓ Jahren) unter den Gestirnen dieser Klasse und ist das bei weitem auffälligste und hellste unter ihnen. Auch unterscheidet er sich insofern von allen anderen seiner Gattung, als er in umgekehrter Richtung wie die Planeten sich bewegt. Solche retrograde Bewegung besitzen zwar noch sehr viele gewöhnliche Kometen, aber unter den periodischen findet sie sich sonst nicht wieder. Das Gestirn kommt der Sonne bis auf etwas mehr als die Hälfte unserer Sonnenentfernung nahe, steht dagegen im „Aphel", der größten Sonnenentfernung, 35,4 Erdbahnhalbmesser von ihr ab, reicht dann also noch etwas über die Neptunbahn hinaus.

Die Periodizität dieses Kometen fand Halley, als er es zuerst unternommen hatte, nach den von Newton gegebenen Formeln die Bahnen von 24 Kometen zu berechnen. Es ergab sich dabei die Bahn des kurze Zeit vorher erschienenen Kometen von 1682 so ähnlich denjenigen der Kometen von 1607 und von 1531, zwischen welchen Epochen ein gleiches Zeitintervall lag, daß an der Identität dieser Erscheinungen nicht wohl gezweifelt werden konnte. Da der einen etwa 20 Grad langen Schweif besitzende Komet sehr gut mit dem bloßen Auge gesehen werden kann, so ist man bei jeder seiner Wiederkünfte auf ihn aufmerksam geworden; man kann diese Wiederkünfte sogar bis zum Jahre 12 v. Chr. mit ziemlicher Sicherheit lückenlos zurückverfolgen. Nach der 1682er Erscheinung machten sich nun die Rechner daran, das nächste Auftreten des Gestirnes genauer im voraus zu bestimmen. Clairaut, der schon mit 18 Jahren Mitglied der Pariser Akademie wurde, hatte ein volles Jahr an der langwierigen Rechnung zu tun, obwohl er dabei wesentlich von Madame Lepaute, der Frau eines damals berühmten Uhrmachers, unterstützt wurde, die sich dadurch in der Geschichte der rechnenden Astronomie einen bleibenden Namen gesichert hat. Am 14. November 1758, nur 5 Monate vor der zu erwartenden Rückkehr des Kometen, konnte Clairaut der Akademie die Resultate der gemeinsamen Arbeit vorlegen, die den Durchgang des Gestirnes durch seine Sonnennähe mit einem Monat Unsicherheit auf den 13. April 1759 ankündigte. Der Bauer Palitzsch in Prohlis bei Dresden, gleichfalls wie die beiden Vorgenannten ein seltener Geist, von dem Herschel in seinen „Outlines" sagt: „A peasant by station, an astronomer by nature", fand den Kometen nach systematischem Suchen, das speziell auf dieses Gestirn zugeschnitten war, am Weihnachtstage 1758, und der weitere Lauf des Kometen ergab, daß er seine Sonnennähe am 12. März 1759 erreichte, also um nicht mehr als den durch die Rechnung vorausgesagten Monat von dem theoretisch ermittelten PerihelDurchgange verschieden. Die neue Erscheinung gab der Vorausberechnung der für 1835 zu erwartenden Erscheinung sehr viel bessere Grundlagen, so daß man diesmal die Genugtuung einer fast vollständigen Übereinstimmung zwischen Beobachtung und

Vorausberechnung hatte. Die Rechnung wurde von verschiedenen Seiten unabhängig ausgeführt. Am nächsten kam der Wahrheit Pontécoulant, der die Rückkehr zum Perihel für den 15. November angab, nur einen Tag zu früh; Rosenbergers Rechnungen wichen um 5 Tage in demselben Sinne ab. Der Komet wurde am 6. August jenes Jahres zuerst von Dumouchel am päpstlichen Observatorium in Rom aufgefunden. Angesichts der großen Pünktlichkeit, mit der dieses interessante Gestirn der Theorie folgte, ist kaum ein Zweifel darüber möglich, daß es abermals nach der Voraussage Pontécoulants am 17. Mai 1910 wieder durch seine Sonnennähe gehen wird. Dies ist der einzige Fall, in dem die Astronomen imstande sind, das Erscheinen eines für alle Welt sichtbaren Kometen mit ähnlicher Sicherheit vorherzusagen, wie man etwa das Eintreffen einer Finsternis verkündet. Wann freilich der Komet zuerst wieder von unseren optischen Hilfsmitteln wird gesehen werden können, läßt sich nicht mit Sicherheit voraussagen. Er befindet sich vor seiner größeren Annäherung in einer Himmelsgegend, die im Dezember am günstigsten für uns liegt. Im Dezember 1908 wird der Komet nur noch etwa fünf Erdbahnradien von uns entfernt sein. Da beispielsweise der erste Komet von 1889 noch in 6,4 Erdbahnradien gesehen werden konnte, so ist einige Wahrscheinlichkeit, daß das interessante Gestirn zuerst Ende 1908 in unseren besten Instrumenten wieder aus der Nacht des Universums für uns auftauchen wird, in der es mehr als 70 Jahre sich verborgen hielt.

Bis 1884 blieb der Halleysche Komet der einzige unter den periodischen, der eine so große Umlaufszeit von einigen 70 Jahren hatte. In dem letztgenannten Jahr aber passierte noch ein anderes Gestirn dieser Art seine Sonnennähe, zwar erwartetermaßen, aber doch längst nicht so pünktlich wie das von Halley. Es war der 1812 von Pons entdeckte teleskopische Komet, dessen Periodizität Encke zuerst erkannte, der dementsprechend seine Rückkehr für das Jahr 1883 voraussagte. Später haben die Pariser astronomischen Rechner Schulhof und Bossert die Rechnung wiederholt und daraufhin einen starken, ganz mit Zahlen angefüllten Band herausgegeben, der nur dazu dienen sollte, die Auffindung des Gestirnes zu erleichtern. Am 1. September 1883 aber fand der amerikanische Kometenjäger Brooks zufällig einen sich bewegenden Nebel, der sich später durch die Rechnung als der gesuchte Komet herausstellte. Das Gestirn kam diesmal der Erde etwas näher als 1812 und konnte deshalb einige Zeit hindurch mit bloßem Auge gesehen werden, blieb jedoch stets unauffällig. Es traf 9 Monate später ein, als es Encke, und 7 Monate früher, als es die Pariser angegeben hatten. Diese mangelnde Übereinstimmung ist aber im vorliegenden Falle durch die Unsicherheit der beobachteten Unterlagen der Rechnung zu erklären, so daß seine dritte Wiederkunft im Jahre 1954 gewiß schon besser stimmen wird. Dieser Komet kann sich bis auf 0,775 der astronomischen Einheit, d. h. etwas mehr als die Venus, der Sonne nähern und entfernt sich bis auf 33,67 solcher Einheiten; seine Bahn reicht also, ebenso wie die des Halleyschen Kometen, noch immer etwas über die Neptunbahn hinaus.

Zu diesen beiden Kometen gesellte sich 1887 noch ein dritter, der zuerst am 6. März 1815 von Olbers in Bremen gesehen und dann von Gauß und Bessel als periodisch mit einer Umlaufszeit von etwa 74 Jahren erkannt wurde. Die ausführlichste Bearbeitung lieferte Ginzel, der eine Umlaufszeit für dieses Gestirn fand, die vermöge der Unsicherheiten der Beobachtungen zwischen 72,3 und 75,7 Jahren schwankte. Nachdem lange vergeblich nach dem schwachen Gestirn gesucht worden war, fand ihn wiederum Brooks am 24. August 1887 auf, und die Rechnung ergab eine Umlaufszeit von 72,5 Jahren, die also hart an der

unteren Grenze der angegebenen Unsicherheit liegt. Der Komet ist demgemäß 1960 wieder zu erwarten. Seine kürzeste Sonnenentfernung ist 1,2 der unserigen, seine größte fast genau gleich der des vorigen Kometen. (S. die Abbildung auf unserer Tafel I, bei S. 208, Fig. d.) Zu diesen periodischen Kometen mit größerer Umlaufszeit ist mit der Einschränkung, daß er noch nicht wiederholt gesehen worden ist, noch der von Westphal, 1852 IV, zu rechnen, mit 60,5 Jahren Umlaufszeit. Er müßte also 1912 wiederkehren.

Weiterhin zeigt die Tabelle der periodischen Kometen einen großen Sprung bezüglich der Umlaufszeiten: die nächstgrößte beträgt nur noch 13,76 Jahre und gehört dem Kometen von Tuttle an. Tuttle entdeckte ihn am 4. Januar 1858 und erkannte bald durch eine vorläufige Bahnrechnung, daß er mit einem 1790 von Méchain gesehenen Kometen identisch sein müsse. Es zeigte sich in der Tat, daß das Gestirn inzwischen viermal, und zwar wegen seiner Kleinheit unbemerkt, zur Sonne zurückgekehrt war. Die Rechnungen Tischlers gaben darauf den nächsten Periheldurchgang für die Nacht auf den 1. Dezember 1871 an, während er in den Morgenstunden des 2. wirklich stattfand. Die zweite Vorausberechnung von Rahts in Königsberg für den 11. September 1885 stimmte bis auf ein noch Geringeres mit der Wahrheit überein.

Die übrigen 14 periodischen Kometen gehören alle zu einer und derselben Familie des Jupiter, d. h. sie wurden durch dessen Einfluß zu dauernden Mitgliedern des Sonnensystems gemacht. Auf der Abbildung Seite 227, auf der sämtliche Kometenbahnen dieser Familie eingezeichnet sind, auch die, bei denen nur eine Erscheinung beobachtet wurde, übersehen wir sofort, daß nur wenige dieser Kometen die Jupiterbahn merklich überschreiten, daß der von Denning, nur einmal 1881 beobachtet, am meisten über diese Grenze hinausreicht, und daß der von Encke der Sonne am nächsten kommt und überhaupt die kleinste von den Kometenellipsen hat.

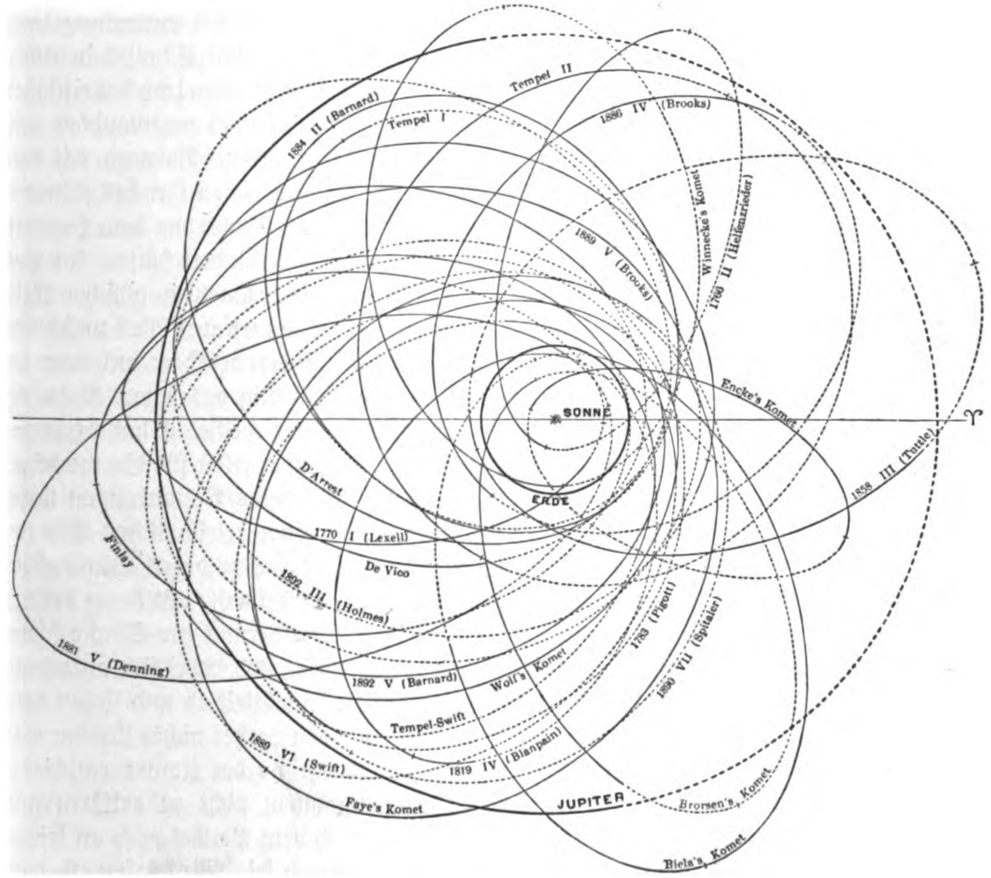
Die vierzehn wiederholt beobachteten Kometen dieser Gruppe sind die folgenden:

Name	Epochen der Periheldurchgänge		Umlaufszeit in Jahren	Sonnenentfernung in astron. Einheiten		Anzahl der Wiederkünfte
	Jahr	Monat, Tag		kleinste	größte	
Faye	1903	Juni 4	7,390	1,650	5,94	9
Brooks	1903	Dezember 6	7,101	1,959	5,43	3
Holmes	1899	April 28	6,874	2,128	5,102	2
Wolf	1898	Juli 5	6,845	1,603	5,61	3
d'Arrest	1897	Juni 3	6,686	1,327	5,77	6
Finlay	1900	Februar 17	6,556	0,969	6,04	3
Biela	1866	Januar 26	6,692	0,879	6,22	6
Tempel I	1898	Oktober 4	6,538	2,091	4,90	6
De Vico-E. Swift	1901	Februar 14	6,400	1,670	5,22	4
Winnecke	1904	Januar 21	5,828	0,923	5,55	8
Tempel-L. Swift	1903	Januar 24	5,678	1,152	5,21	5
Brorsen	1890	Februar 24	5,456	0,588	5,61	5
Tempel II	1899	Juli 29	5,281	1,389	4,68	4
Encke	1901	September 15	3,304	0,342	4,10	29

Die meisten dieser Kometen sind seit ihrer Entdeckung innerhalb der Grenzen der zu erwartenden Unsicherheit der Rechnung pünktlich wiedergekehrt. Was in dieser Hinsicht einschränkend betreffs des Enckeschen Kometen zu erwähnen ist, wurde schon gesagt.

Zwei Kometen jedoch aus dieser Liste, die eine Zeitlang regelmäßig zurückkamen, sind seither verschollen: der von Biela und der Brorsensche. Der letztere wurde

am 26. Februar 1846 von Brorsen in Kiel entdeckt. Es war ein teleskopischer und ziemlich lichtschwacher Komet. Brünnow und d'Arrest erkannten zuerst seine Periodizität und gaben seinen nächsten Perihelgdurchgang auf den 26. September 1851 an. In diesem Jahre wurde er aber nicht wieder aufgefunden, allerdings wohl auch nicht sehr eifrig gesucht. Am 18. März 1857 aber entdeckte ihn Bruhns aufs neue und erkannte durch die Rechnung seine Identität mit der Erscheinung von 1846. Die nächste Sonnennähe sollte am 12. Oktober 1862 statt-



Die Kometenfamilie des Jupiter. Vgl. Text, S. 226.

finden, aber auch diesmal wurde der Komet nicht gefunden, was immer noch nicht auffallen konnte, da die Astronomen damals nicht besonders auf ihn aufmerksam gemacht worden waren. Nun aber wurde die rechnerische und beobachtende Verfolgung der periodischen Kometen besser organisiert, und Bruhns übernahm dabei die Sorge für das Brorsensche Gestirn. Seine Rechnungen legten den nächsten Perihelgdurchgang auf den 18. April 1868. Nachdem die Wiederauffindung Schmidt in Athen am 11., Bruhns selbst am 12. April gelang, stellte sich die Rechnung bis auf einen Tag richtig heraus, um den das Gestirn früher zur Sonne zurückgekehrt war. Ebenso kam es 1873 und 1879 wieder, aber es wurde jetzt die merkwürdige Tatsache entdeckt, daß die aus den Erscheinungen von 1868 und 1873 bestimmte Umlaufszeit mit der aus dieser letzteren Rückkehr und der von 1879 hergeleiteten

nicht in Einklang zu bringen war. Ausführliche Rechnungen sind hierüber von Schulze in Döbeln und von Lamp in Kiel angestellt worden. Sie ergeben eine Verzögerung des Kometen, die der Wirkung jenes problematischen widerstehenden Mittels entgegengesetzt ist. Der Einfluß desselben nähert die Körper unbedingt der Sonne, während der Brorsensche Komet sich von ihr entfernte. Im Jahre 1884 sollte der Komet zurückkehren, kam aber in keine günstige Stellung zur Erde und wurde, aus diesem oder aus anderen Gründen, nicht gefunden. Bedeutend günstiger aber war die Lage des Kometen 1890, ja, es war die günstigste von allen seinen Erscheinungen mit Ausnahme der bei der Entdeckung 1846. Die Lagenverhältnisse waren jedenfalls besser als zu der Zeit, da ihn Schmidt in Athen sogar eine Zeitlang mit bloßem Auge gesehen hatte. Dennoch ist das Gestirn trotz des eifrigsten Suchens mit Instrumenten, welche den bei den früheren Erscheinungen angewandten weit überlegen waren, nicht aufzufinden gewesen. Unter anderen streifte Barnard mit dem 12-Zöller der Lick-Sternwarte die Himmelsgegend um den angegebenen Ort des Kometen in so weiten Grenzen ab, daß selbst ein theoretisch nicht erklärlicher Fehler von dem Hundertfachen der vorauszusehenden Unsicherheit die Auffindung nicht verhindert hätte. In Pulkowa bei Petersburg bemühte sich Renz mit einem 15zölligen Instrument in gleicher Weise und in Wien Spitaler gar mit dem gewaltigen 26-Zöller. Der Komet aber blieb unsichtbar.

Nur zwei Erklärungen sind für dieses sonderbare Verschwinden denkbar: entweder hat der Komet irgendeine unbekannte Störung erlitten, die ihn völlig aus seiner Bahn riß, so daß er der Erde nicht mehr nahe kommen konnte, oder seine Helligkeit hat dermaßen abgenommen, daß er wohl den vorausberechneten Weg ging, aber selbst für die mächtigen Fernrohre der Gegenwart zu lichtschwach geworden ist. Für beide Vermutungen liegen Anhaltspunkte vor. Alle Beobachter haben sich über die für einen teleskopischen Kometen ungewöhnlichen Schwankungen der Lichtstärke und der Dimensionen dieses Brorsenschen Gestirnes gewundert. Es trat meist als eine verschwommene Nebelmasse mit kaum bemerkbarer Verdichtung nach ihrer Mitte zu auf, die bei ihrer Annäherung zur Sonne schnell an Helligkeit zunahm, aber dann noch schneller wieder verblaßte und dabei sich ausdehnte. Die Nebelmassen der Coma nahmen scheinbar wesentlich an Dichtigkeit ab und ließen dann oft ein oder mehrere Lichtpünktchen durchschimmern, von denen vorher nichts sichtbar war. Auch von einer beobachteten Wiederkunft bis zur nächsten zeigte der Komet entschieden Helligkeitsänderungen, die durch die veränderte Stellung allein nicht zu erklären sind. Schmidt sagt, daß ihm eine so plötzliche Lichtschwächung nach dem Perihel noch an keinem der 50 Kometen, die er bis dahin beobachtet hatte, vorgekommen sei. Wir dürfen also wohl annehmen, daß besondere Dinge im Innern dieses Kometen vorgehen, die auch das gänzliche Verschwinden erklären könnten. Lamp ist dieser Meinung zugeneigt und glaubt, daß Ausströmungen, die zwar an diesem Kometen nicht wahrzunehmen waren, aber deshalb doch wohl stattfinden konnten, die Lichtschwankungen einerseits und ferner die Verlangsamung seiner Umlaufszeit, von der wir oben sprachen, bewirkt haben könnten. Wenn bei diesen Ausströmungen Materie den Kometen verläßt, um sich in den Weltraum zu verlieren, so muß damit notwendig eine Abstoßung verbunden sein, wie man sie bei allen Ausströmungen von Wasser, von Dampf, Elektrizität u. s. w. beobachtet. Findet die Ausströmung nun nach der Sonne hin statt, wie man es bei den Kometen zu beobachten pflegt, so muß die Rückwirkung in dem Sinne sich bemerkbar machen, wie es die Verlangsamung des Brorsenschen Gestirnes anzeigt.



Aber auch das Eingreifen der anderen Ursache, ungewöhnlich großer Störungen, kann im vorliegenden Falle wahrscheinlich gemacht werden. Die Bahn kommt nämlich sowohl jener der Venus wie des Jupiter und noch einiger kleinen Planeten sehr nahe. Daraus folgt die Möglichkeit, daß auch die Körper selbst, die diese Bahnen beschreiben, dem Kometen gelegentlich nahe kommen können. Mit dem Jupiter fand dies z. B., wie die Rechnung ergab, vier Jahre vor der Entdeckung des Kometen am 27. Mai 1842 statt, an welchem Tage die gegenseitige Entfernung nur 0,055 Einheiten oder etwa 8 Millionen Kilometer betrug. Selbstverständlich werden die Wirkungen der Anziehungskraft, die bei solchen Annäherungen stattfinden, so genau wie möglich in Rechnung gezogen. Aber leider bleiben hier große Unsicherheiten übrig, von denen im zweiten Hauptabschnitte die Rede sein wird. Ferner werden wir nachher sehen, daß im Weltraume Massenansammlungen existieren, die uns nur unter außergewöhnlichen Umständen sichtbar werden, und die wohl den Lauf eines Kometen, wenn er sehr nahe an ihnen vorübereilt, beträchtlich verändern können. Erst die Zukunft wird zwischen diesen Möglichkeiten, die unter Umständen beide zugleich mitgewirkt haben können, zu entscheiden gestatten. Auch der periodische Komet de Vico scheint ähnlichen Helligkeitsschwankungen unterworfen gewesen zu sein.

Ein höchst interessantes Licht auf die Umstände, die ein derartiges Verschwinden auch bei dem bisher in Rede stehenden Kometen bewirkt haben können, wirft die Geschichte des gleichfalls verschollenen Kometen von B i e l a, bei dem man die Ursache zufällig etwas genauer kennen gelernt hat. Zuerst wurde dieser teleskopische Komet 1772 gesehen, ohne durch irgend etwas aufzufallen, dann am 10. November 1805 von Pons wieder entdeckt und, nachdem die Bahn dieser letzteren Erscheinung unter anderen auch von Bessel und Gauß berechnet worden war, als identisch mit dem von 1772 erkannt. War die hierdurch gefundene Ellipse von 6½ Jahren Umlaufszeit richtig, so mußte der Komet im Jahre 1826 wieder zur Sonne zurückkehren. Dies war dem österreichischen Hauptmann v. Biela, der damals in Josefstadt in Böhmen in Garnison lag, bekannt, und er fahndete deshalb mit seinen geringfügigen Mitteln nach dem zu erwartenden Gaste mit größtem Eifer; es heißt sogar, daß er seine Wachtposten angelernt habe, gleichfalls mit zu suchen. Sein Eifer war vom schönsten Erfolge gekrönt, indem er am 27. Februar 1826 jenes Gestirn auffand, das später so berühmt werden sollte. Der Entdecker selbst berechnete die erste Bahn für die neue Erscheinung und stellte dadurch die Identität unzweifelhaft fest. Unabhängig von ihm entdeckte 10 Tage später der französische Kometenjäger Gambart in Marseille dasselbe Gestirn, jedoch ganz zufällig, ohne nach ihm zu suchen, und berechnete dann seine Bahn. Die Franzosen belegten deshalb bis vor kurzer Zeit, wider alle Gepflogenheit, den Kometen mit dem Namen Gambarts.

Er erschien 1832 zuerst der Rechnung gemäß, und zwar ziemlich pünktlich; aber er setzte dennoch die Welt in nicht geringe Aufregung. Die Rechnung hatte nämlich ergeben, daß die Bahn dieses Kometen fast genau die Erdbahn kreuzte. Wenn nun beide Himmelskörper zugleich in diesem Kreuzungspunkt eintrafen, so war ein Zusammenstoß in der Tat unvermeidlich, und man durfte, namentlich bei der damals noch großen Unkenntnis über die Natur der Kometen, nichts Geringeres als den Erduntergang von einem solchen Zusammenstoß erwarten. Schon 1773 war deswegen einmal ganz Paris in gewaltigen Schrecken geraten, als der berühmte Lalande in der Akademie eine Vorlesung über Kometen halten wollte, die sich der Erde nähern können. Es hatte sich damals, man weiß nicht wie, das



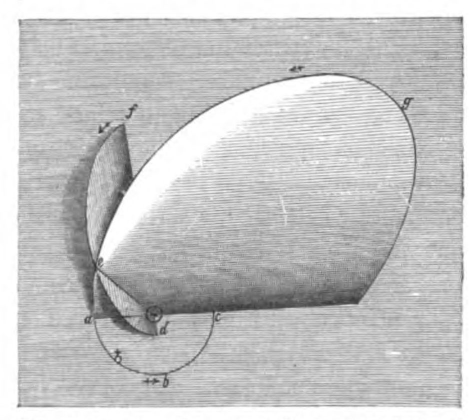
Gerücht verbreitet, dem Gelehrten sei von der Polizei verboten worden, diese Vorlesung zu halten, weil er darin für den 12. Mai jenes Jahres den Weltuntergang durch Zusammenstoß mit einem Kometen hätte ankünden wollen. Obgleich hiervon nicht im entferntesten die Rede sein konnte, wie die schleunige Veröffentlichung der Lalandeschen Rede erwies, so waren doch die Gemüter nicht mehr zu beruhigen. „Dieses bloße Gerücht reichte hin, einen so panischen Schrecken zu verbreiten, daß nicht nur ganz Paris diesem Tage entgegenjammerte, sondern sogar infolge der Angst Frühgeburten, Todesfälle u. s. w. eintraten, und unwürdige Geistliche, welche um schweres Geld Absolution anboten, die besten Geschäfte machten." (Wolf, Geschichte der Astronomie.) Laplace selbst, der große Geometer, konnte sich seinerzeit nicht enthalten, die Folgen einer solchen Katastrophe mit den düstersten Farben zu schildern: „Der Schrecken", schreibt er, „welchen seinerzeit das Erscheinen eines Kometen einflößte, hat der Furcht Platz gemacht, daß unter der großen Zahl derselben, welche das Planetensystem in allen Richtungen durchkreuzen, sich vielleicht einer befinden möge, der die Erde über den Haufen wirft, und es ist in der Tat leicht, sich die Wirkung eines solchen Zusammenstoßes vorzustellen. Die Rotationsachse der Erde und ihre Umschwungsbewegung würden verändert, die Meere würden ihre bisherigen Becken verlassen, um sich gegen den neuen Äquator hinzustürzen; Menschen und Tiere müßte diese allgemeine Sintflut ertränken, wenn sie nicht schon der heftige Stoß zugrunde richtet, den die Erdkugel erfuhr. Ganze Geschlechter würden vernichtet und die Denkmäler der menschlichen Intelligenz umgestürzt werden, wenn die Masse des Kometen, der diesen Zusammenstoß hervorbringt, mit der der Erde vergleichbar ist."

Obschon dieser Nachsatz von der der Erde vergleichbaren Masse für den Astronomen auch damals schon ungemein beruhigend wirken mußte, da die Geringfügigkeit der Kometenmassen zu jener Zeit außer Zweifel stand, so wollen doch viele an solche theoretischen Resultate niemals recht glauben, solange keine handgreiflichen Beweise vorliegen. Immerhin könnte auch eine Masse, die astronomisch ganz unbestimmbar klein ist, also etwa eine steinerne Kugel von nur einem Kilometer Durchmesser, die mit einer Geschwindigkeit von mehreren Kilometern in der Sekunde gegen unseren mütterlichen Planeten stieße, eine Weltkatastrophe für dessen lebendige Natur herbeiführen, wenngleich ein solches Ereignis in dem Spiele der himmlischen Bewegungen keinerlei bemerkbare Wirkung haben würde. Auch könnte ein solcher Körper, selbst wenn er nicht in unmittelbare Berührung mit der Erde käme, sondern nur nahe an ihr vorüberschösse, durch seine Anziehungskraft das Meer so gewaltig aufwühlen, daß die ungeheure Flutwelle, die er hinter sich herzöge, für die Erde zur allgemeinen Sintflut werden müßte.

Olbers in Bremen, der berühmteste Kometenkenner seiner Zeit, hatte bei Gelegenheit der für 1832 zu erwartenden Wiederkehr des Bielaschen Kometen darauf hingewiesen, letzterer müsse am 29. Oktober jenes Jahres so nahe an der Erdbahn vorüberstreifen, daß seine Nebelhülle von ihr durchschnitten würde. Jedenfalls würde der Komet, wenn er gleichzeitig mit der Erde in diesem Schnittpunkt einträfe, dieser mindestens dreizehnmal näher kommen als der Mond. Die Welt, blind geworden durch Furcht oder Sensationslust, übersah natürlich auch diesen Nachsatz, der deutlich aussprach, daß wohl die Bahnen dieser Körper sich so beträchtlich einander näherten, daß aber die Erde mit ihren allzu ängstlichen Bewohnern in demselben Augenblick, in welchem der Komet die gefährliche Stelle passieren würde, volle 11 Millionen Meilen von ihr entfernt sei. Es kostete sehr viel Mühe, um

diesmal ähnliche Wirren wie die vorhin geschilderten zu verhüten. Namentlich hat eine darauf bezügliche Schrift des genialen J. J. v. Littrow, damaligen Direktors der Wiener Sternwarte, viel zur Beruhigung beigetragen. Dieser Schrift ist auch die untenstehende Zeichnung der Bahnlage unseres Kometen, des von Encke und der Erde entnommen, aus der wir zugleich ersehen, daß auch die beiden genannten Kometenbahnen einen Punkt gemein haben, wo sie aufeinander stoßen könnten.

Littrow sagt hierzu: „Wenn jene Begegnung der beiden Kometen um die Mitte unseres Oktobers sich ereignen sollte, so würden wir das bisher noch nie gesehene Schauspiel des Kampfes und vielleicht der gegenseitigen Zerstörung beider Himmelskörper mit unseren Fernrohren und wohl selbst mit freiem Auge beobachten können. So interessant dieser Anblick auch für viele von uns sein mag, so werden doch die meisten nach alt hergebrachter Weise sich sehr wenig um das bekümmern, was in so großer Ferne von ihnen vorgeht, möchte es auch Millionen von Wesen das Leben kosten und einer ganzen Welt den Untergang bereiten, wenn nur sie selbst sich wohl befinden und dabei für ihr eigenes süßes Ich keine Gefahr zu befürchten haben. Aber wie wird es mit dem gerühmten Gleichmut dieser Leute stehen, wenn sie nun hören, daß derselbe Komet auch ihnen selbst gefährlich werden, und daß er sie vielleicht auf eine sehr unsanfte Art aus ihrem Schlaf wecken könne?" Littrow zeigte ferner, daß die (in der Abbildung mit a bezeichnete) Schnittstelle der Bahnen von Erde und Biela-Komet von der ersteren zwar alle Jahre einmal am 30. November durchlaufen würde, daß aber ein Zusammenstoß hier nur möglich sei, wenn der Komet seine Sonnennähe an einem 28. Dezember habe. Dieser Fall tritt aber nur alle 2500 Jahre einmal ein, wie eine einfache Wahrscheinlichkeitsrechnung ergibt. Annäherungsweise würde diese Bedingung zuerst 1933 erfüllt.



Bahnlagen der Erde, des Bielaschen und des Enckeschen Kometen: a, b, c) Erdbahn, a, e, g) Bahn des Bielaschen Kometen, d, e, f) Bahn des Enckeschen Kometen.

Wie nicht anders zu erwarten war, ging das Jahr 1832 ohne jede Störung vorüber, und der Komet entfernte sich wieder von uns in völlig vorschriftsmäßigem Laufe. Bei seiner nächsten Wiederkehr konnte er wegen zu ungünstiger Stellung nicht beobachtet werden, dagegen erschien er 1845 wieder und setzte diesmal die Astronomen in nicht geringe Verwunderung durch seine fast vor ihren Augen sich vollziehende Zweiteilung. Das Gestirn war am 26. und 28. November in Rom und Berlin zuerst wie sonst gesehen worden; Ende Dezember aber bemerkte man bereits eine seltsame Verlängerung seiner Gestalt, am 13. Januar 1846 sah ihn Maury in Washington sich gabeln, und am 27. Januar erkannte d'Arrest deutlich zwei Köpfe mit zwei parallelen Schweifen daran, wie es die Zeichnung auf unserer Tafel II (bei S. 218), Fig. g, darstellt. Die beiden Kometen gingen nun ruhig nebeneinander her, jedoch so, daß der ursprünglich viel kleinere Nebenkomet immer größer, der andere kleiner wurde, als ob der „Ableger" seinen Mutterkörper langsam aufsöge. Beide blieben dabei von einer schwachen, gemeinsamen Nebelmasse umgeben. So kamen sie 1852 wieder zur Sonne zurück, nur war jetzt die Entfernung beider Kometen beträchtlich größer

geworden (s. auch S. 209). Auch diesmal änderten die Kometen das Verhältnis ihrer Helligkeiten in auffälliger Weise.

Zum letzten Male ist das merkwürdige Doppelgestirn am 28. September 1852 in Pulkowa gesehen worden. Seitdem ist es verschollen. Bei der nächsten Wiederkehr von 1859 war die Lage ungünstig, aber 1865—66 waren die Verhältnisse viel besser, und es ist sehr lange vergeblich nach ihm gesucht worden. Es blieb angesichts des Mißerfolges kaum etwas anderes übrig, als anzunehmen, der Komet habe sich bei abermaliger Spaltung allzusehr geschwächt, um noch wahrgenommen werden zu können, denn schon 1852 waren die beiden Teile recht lichtschwach. Für die etwaige 1872er Wiederkehr waren deshalb gar keine Vorausberechnungen mehr geliefert; man hatte ihn ein für allemal für verschollen erklärt.

Aber gerade 1872 erinnerte der wunderliche Irrstern durch ein prachtvolles Feuerwerk an seine Existenz, das an jenem Tage, an dem die Erde den gemeinsamen Schnittpunkt der Bahnen alljährlich durchläuft (er hatte sich seit Littrows Zeiten vom 30. auf den 27. November verschoben), den nächtlichen Himmel erleuchtete. Ein Sternschnuppenregen, wie man ihn kaum je vorher gesehen hatte, entzückte die ganze Welt; gut, daß es damals noch niemand wußte, daß das gefürchtete Ereignis eines Zusammenstoßes wenigstens mit einem Teile des Bielaschen Kometen sich durch dieses wundervolle Phänomen darstellte; das Entzücken hätte sich vielleicht noch in diesem aufgeklärten Zeitalter in Furcht und Entsetzen verwandelt.

Der gerade durch dieses epochemachende Ereignis außer Frage gestellte Zusammenhang zwischen den Kometen und den Sternschnuppen macht es aber notwendig, uns zunächst diesen letzteren zuzuwenden, ehe wir unsere Erfahrungen über die Kometen zu einem Gesamtbilde vereinigen.

---

11. Die kosmischen Meteore und die physische Beschaffenheit der Kometen.

Noch abweichender von der hehren Ruhe der Vorgänge am Firmament als das Auftreten eines Kometen ist die Erscheinung einer vorüberhuschenden Sternschnuppe, das Aufleuchten einer Feuerkugel oder gar das vom Donner begleitete Herabstürzen eines Meteorsteines selbst aus heiterem Tageshimmel. Wir dürfen uns deshalb nicht darüber wundern, daß diese Phänomene noch viel längere Zeit als die Kometen für irdische Dinge gehalten wurden, die ihren Ursprung in unserer Atmosphäre oder in unseren Vulkanen hätten. Sie gingen ja augenscheinlich in unserer Atmosphäre vor sich, wie auch die spätere strenge Untersuchung bestätigte, im Gegensatz zu der Entwickelung unserer Kenntnisse von den Kometen.

Vor 100 Jahren würde deshalb selbst das umfassendste Lehrbuch der Astronomie von den Gegenständen, die uns im gegenwärtigen Kapitel beschäftigen, gar nichts enthalten haben. Noch in der 1823 erschienenen Auflage des seiner Zeit als vortrefflich anerkannten Werkes von Bode, „Anleitung zur Kenntnis des gestirnten Himmels", finden wir diesen „Lufterscheinungen" nur zwei Seiten gewidmet, deren Inhalt sich in folgenden Zitaten zusammenfassen läßt: „Die Sternschnuppen müssen über allen Wolken und in der höchsten Luftregion entstehen. Wenn sich daselbst eine Mischung subtiler brennbarer Teile durch

die Elektrizität der Luft oder einer chemischen Gärung und Zersetzung schnell entzündet und dann senkrecht herunterschießt . . . Der sogenannte ziehende Drache, die hüpfende Ziege, Fackeln, brennende Balken und andere leuchtende Meteore haben vermutlich teils mit den fallenden Steinen einerlei Art und Beschaffenheit und sind von denselben nur in der Größe und Figur unterschieden, teils können dieselben auch aus zähen und groben Dünsten der unteren Luft, die durch eine Gärung ihrer Urstoffe ein phosphorisches Licht von sich geben, und vom Wind in allerhand zufällige Gestalten und Bewegungen fortgeführt werden, entstehen... Zuweilen sind auch diese Erscheinungen wirklich keine Meteore, sondern werden von gewissen leuchtenden Insekten bewirkt, die oft bei nächtlicher Weile in großen Scharen herumfliegen. Man sieht auch dann und wann des Nachts größere Feuer- oder Glanzkugeln schnell durch die Luft fahren . . . Ihre Geschwindigkeit übertrifft vielmal den Flug einer Kanonenkugel. Daher haben die neueren Naturforscher die Meinung aufgegeben, selbige noch von den Dünsten unserer Atmosphäre herzuleiten, und halten sie (wie schon ehedem Halley) für gewisse Teile, die sich durch die allgemeine Anziehungskraft im Weltenraume zuweilen hier und da zusammenballen, und welchen die Erde in ihrem Laufe begegnet."

Es muß uns heute in Staunen setzen, daß sonst verständnisvolle Männer, ja ganze wissenschaftliche Akademien sich lange Zeit hartnäckig gegen jede nähere Untersuchung der Frage auflehnten, ob diese in unserer Dunsthülle für uns in die Erscheinung tretenden Vorgänge nicht doch ihren Ursprung im Weltenraume haben könnten. So erklärte der Direktor des Wiener Naturhistorischen Museums (das heute die reichste Sammlung von Meteorsteinen überhaupt besitzt), Stütz, im Jahre 1790, daß es wohl um die Mitte seines Jahrhunderts selbst „aufgeklärte Köpfe" gegeben haben möge, die wirklich an die Fabel glaubten, es könnten Steine vom Himmel fallen, daß aber zu seiner Zeit kein der Naturgeschichte Kundiger dies mehr annehmen dürfe. Ja, als im selben Jahre 1790 in der Gascogne vor 300 Augenzeugen ein Stein vom Himmel gefallen war, und darüber der französischen Akademie offiziell Mitteilung gemacht wurde, schrieb der bekannte Physiker Berthelon wörtlich: „Wie traurig ist es nicht, eine ganze Munizipalität durch ein Protokoll in aller Form Volkssagen bescheinigen zu sehen, die nur zu bemitleiden sind. Was soll ich einem solchen Protokoll weiter beifügen? Alle Bemerkungen ergeben sich dem philosophischen Leser von selbst, wenn er dieses authentische Zeugnis eines offenbaren falschen Faktums, eines physisch unmöglichen Phänomens liest." Allerdings war es ein hartes Stück, an das Herabfallen zentnerschwerer Steine aus der Luft zu glauben, wenn man nicht selbst Augenzeuge eines solchen Wunders gewesen war, und man begreift anderseits, daß man diesen Steinen nicht recht trauen wollte. Es wird erzählt, daß man einen am 7. September 1514 in Ungarn niedergefallenen Stein von 250 Pfund Gewicht mit schweren Ketten in der Kirche anschmiedete, damit er nicht wieder davonfliegen könne.

Gegenüber jenen einseitigen und sich schroff aller Überzeugungskraft der Tatsachen verschließenden Ansichten muß auch hier wieder festgestellt werden, daß bereits im griechischen Altertum vereinzelt richtigere Ansichten über diese Erscheinungen aufgetaucht waren. So soll um 465 v. Chr. Anaxagoras die Meinung ausgesprochen haben, ein damals gefallener Meteorit möge aus der Sonne stammen, und Plutarch sagte: „Sternschnuppen sind nach der Meinung einiger Physiker nicht Auswürfe und Abflüsse des ätherischen Feuers, das in der Luft unmittelbar nach der Entzündung erlischt, noch auch eine Entzündung



und Entflammung der Luft, die in der oberen Region sich in Menge aufgelöst hat; sie sind vielmehr ein Fall himmlischer Körper, dergestalt, daß sie durch eine gewisse Nachlassung der Schwungkraft und durch den Wurf einer unregelmäßigen Bewegung herabgeschleudert werden, nicht bloß nach der bewohnten Erde, sondern auch außerhalb in das große Meer, weshalb man sie dann nicht findet."

Zu den berühmtesten Steinfällen aus früherer Zeit, die sachgemäß beschrieben wurden und deshalb zu eingehenderer Prüfung der Erscheinung hätten Anlaß geben sollen, gehört der von Ensisheim. Der Stein wurde in der Kirche des Ortes eingemauert, ist aber bei einem Neubau des Turmes in den fünfziger Jahren des vorigen Jahrhunderts in das Rathaus des Ortes gebracht worden, wo man ihn heute noch sehen kann. Er wiegt jetzt noch etwa 40 Kilo. Eine seinerzeit in der Kirche neben dem Stein aufgehängte Tafel beschreibt den Fall. Wir geben ihren Inhalt teilweise wieder, da er die typischen Erscheinungen eines Steinfalles recht gut schildert und zugleich wieder ein Zeugnis von der Verlegenheit gibt, in welche die Gelehrten durch ein solches Ereignis versetzt wurden. Der Bericht lautet: „Anno Domini 1492 uff Mittwochen nächst vor Martini den siebenten Tag Novembris geschah ein seltsam Wunderzeichen. Denn zwischen der eilften und zwölfften Stund zu Mittagszeit kam ein großer Donnerklopff und ein lang getöß, welches man weit und breit hörte, und fiel ein Stein von den Lüfften herab bei Ensisheim in ihrem Bann, der wog zweihundert und sechzig Pfund, und war der Klopff anderwo viel größer, dann allhier. Da sahe ihn ein Knab in eim Acker im oberen Feld, so gegen Rhein und Ill zeucht, bei dem Gisgang gelegen, schlagen, der war mit Waitzen gesäet und that ihm kein Schaden, als daß ein Loch innen würd. Da führten sie ihn hinweg und ward etwa mannig Stück davon geschlagen: das verbot der Landvogt. Also ließ man ihn in die Kirche legen, ihn willens dann zu einem Wunder aufzuhenken und kamen viel Leut allher den Stein zu sehen, auch wurden viel seltsam Reden von dem Stein geredet. Aber die Gelehrten sagten, sie wissen nicht was es wär, denn es wär übernatürlich, daß ein solcher Stein sollt von den Lüfften herabschlagen, besonders es wär ein Wunder Gottes, denn es zuvor nie erhört, gesehen noch geschrieben befunden worden wär. Da man auch den Stein fand, da lag er bei halb Mannestief in der Erden, welches jedermann dafür hält, daß es Gottes Wille war, daß er gefunden würde. Und hat man den Klopff zu Lucern, zu Pfillingen und sonst an viel Orten so groß gehört, daß die Leut meinten, es wären Häuser umgefallen."

Suchen wir nun an der Hand der heute über diese Erscheinungen vorliegenden Beobachtungstatsachen ihre bis vor kurzem noch so geheimnisvolle Natur zu ergründen, ohne uns dabei an die historische Entwickelung dieser Erkenntnis weiter zu halten.

Von den drei Klassen von Erscheinungen, den Sternschnuppen, Feuerkugeln und Meteoritenfällen, die wir gemeinsam behandeln, sind es die Feuerkugeln oder Boliden, die sich durch ihre Größe und relativ langsamere scheinbare Bewegung (gegenüber den Sternschnuppen) noch am ehesten als kosmische Phänomene ansprechen lassen, so daß sie nach den Kometen hier in die erste Reihe zu stellen sind.

Eins der imposantesten Schauspiele am gestirnten Himmel, das der Augenblick unerwarteterweise bringen kann, ist unstreitig das Erscheinen einer Feuerkugel. Plötzlich, so daß man den Anfang des Phänomens selten sieht, sondern erst durch die blitzartig auftretende, dann aber einige Zeit andauernde Helligkeit der Landschaft den Blick nach der Quelle derselben wendet, taucht unter den festen Sternen oder im Dämmerscheine des

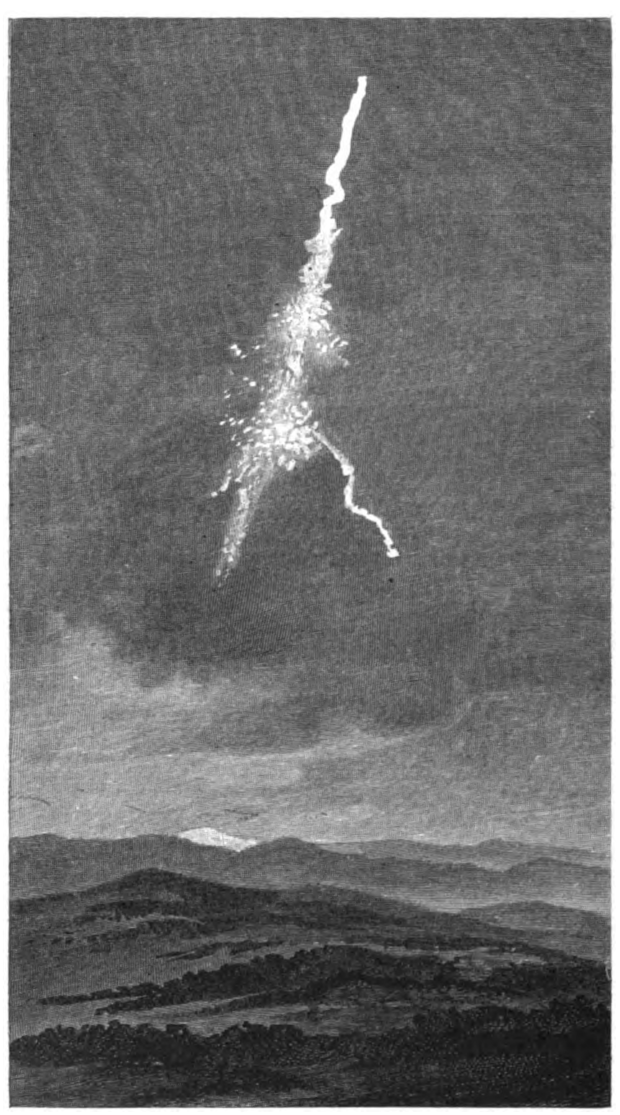
beginnenden oder endenden Tages eine wundervoll, meist in grünlichem oder bläulichem Licht erstrahlende rundliche Masse auf, die schnell, in wenigen Sekunden, größer und heller wird, als käme sie direkt auf den Ort zu, an dem wir, erschreckt und bewundernd zugleich, dem majestätischen Phänomen zuschauen. Dieser Eindruck wird noch dadurch erhöht, daß die anfangs große scheinbare Geschwindigkeit des Phänomens gewöhnlich rasch abnimmt und die Bahn fast immer gegen unseren Horizont geneigt ist. Die Feuerkugel hat nun ihren Hemmungspunkt erreicht. Es entwickelt sich mit einem Schlage die ganze Pracht der wundervollen Erscheinung: der Feuerball zerplatzt und schleudert schlängelnde Raketen nach allen Richtungen, ein wahrhaft himmlisches Feuerwerk, in dessen Glanz die Landschaft magisch erstrahlt. Einen Augenblick später ist alles verschwunden. Zuweilen nur folgt der Erscheinung ein mächtiger Donner, und noch seltener stürzt dann ein Stein aus der Höhe, der sich nicht allzu tief in den Erdboden eingräbt und, an seiner Oberfläche wenigstens, glühend heiß ist.

Oft wird die Bolide von einer plötzlich mit ihr auftretenden Wolke begleitet, die am Tage zuweilen ihr einziges Merkmal sein kann, wenn die Tageshelle den übrigen Teil der Erscheinung verhüllt. Aus dieser Wolke stürzen dann gelegentlich Meteorsteine herab. Der Eindruck, daß das Ereignis, auch wenn kein Stein niederfiel und kein Donner gehört wurde, in nächster Nähe des Beobachters vor sich ging, ist meist so stark, daß letzterer oft mit Bestimmtheit Teile des Meteors vor irdischen Gegenständen niederfallen zu sehen glaubte. So behaupteten bei Gelegenheit einer am 5. Dezember 1880 über Genf erschienenen Feuerkugel drei verschiedene Beobachter, die meilenweit voneinander entfernt waren, diese Feuerkugel ganz in ihrer Nähe niederfallen gesehen zu haben; der erste nahe über den Bäumen am See in einer Vorstadt, so daß die Stücke zwischen den Zweigen hindurchflogen und auf das Straßenpflaster fielen, wo sie sich prasselnd und funkensprühend zerschlugen. Die Leute seien an dieser Stelle zusammengelaufen, hätten aber nichts mehr gefunden. Der zweite Beobachter hatte das Meteor zwischen sich und einem Gebäude in Collonge niederfallen sehen, einem Dorfe, das etwa eine Meile nördlich von Genf am Fuße des Salève liegt. Das Meteor müsse notwendig dort in den zu jenem Gebäude gehörigen Garten gefallen sein. Auch hier waren alle Nachforschungen vergebens. Der dritte behauptete allen anderen gegenüber, daß die Feuerkugel ganz in der Nähe von Chillon, also am anderen Ende des Sees, in diesen gefallen sei. Die schneebedeckten Berge Savoyens und unten die spiegelnden Wasser seien in dem blauen Licht einige Sekunden lang von einem unbeschreiblichen Zauber übergossen erschienen. Dann sei das Meteor schnurgerade vor den hellschimmernden Bergen hingestürzt, so daß man diese deutlich hinter der leuchtenden Kugel gesehen habe, und einen Moment später sei sie in den aufzischenden Wogen erloschen.

Gegenüber diesen Schilderungen ergab eine nähere Erörterung der Erscheinung aus allen Berichten, daß die Bolide jedenfalls viele Meilen über Genf und Savoyen hingezogen und von ihr höchstwahrscheinlich nirgends ein Teil, jedenfalls nicht in den Umgebungen des Genfer Sees, zur Erde gefallen war. Dennoch waren jene drei Beobachter moralisch einwandfrei; sie hatten sich täuschen lassen.

Wir haben den interessanten Fall ausführlicher erzählt, weil er ein Licht auf die merkwürdigen psychologischen Vorgänge wirft, welche die Beobachtung astronomischer Ereignisse entstellen können, namentlich wenn sie von kurzer Zeitdauer sind; mit ihnen hat der

Astronom bei der Untersuchung zu rechnen. Es gibt nicht nur Nachwirkungen physiologischer Art, z. B. auf der Netzhaut unseres Auges, sondern auch solche, die nur in unserem Geiste vor sich gehen und eine im Augenblick unerklärliche Erscheinung in unserer Phantasie zu einem verständlichen Abschlusse bringen, wie im vorliegenden Fall durch das vermeintliche völlige Herabstürzen der meteorischen Masse.



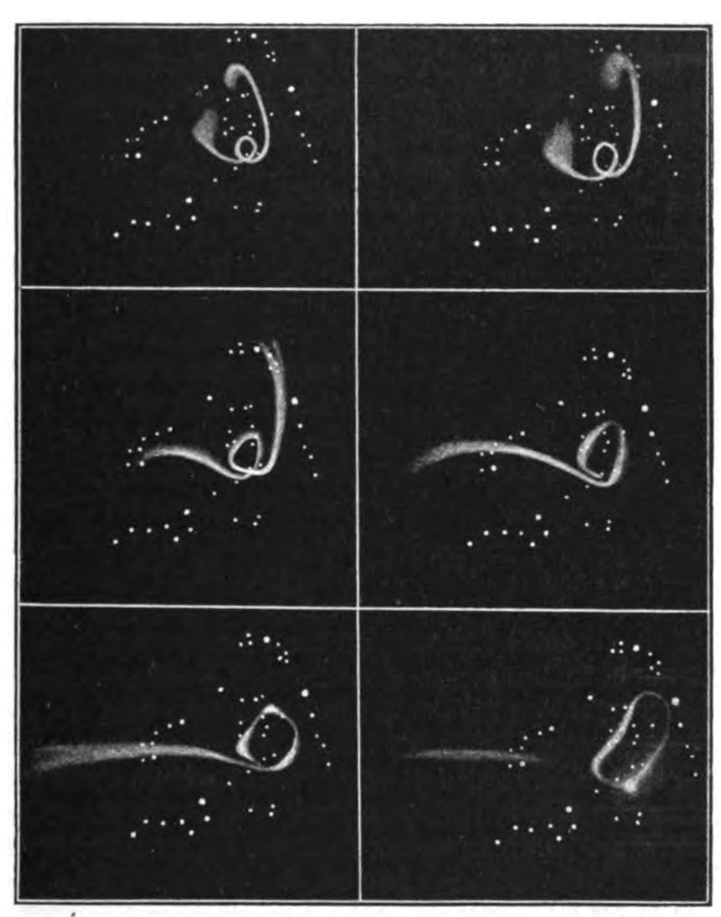
Meteor, gesehen am 27. Juli 1894 über Kalifornien.

Eine vorzügliche bildliche Darstellung eines am 27. Juli 1894 über Kalifornien explodierten Meteors ist zuerst in den von der Lick-Sternwarte herausgegebenen „Publications of the Astronomical Society of the Pacific" erschienen und in nebenstehender Abbildung wiedergegeben. Auch von diesem Meteor ist, soviel ermittelt werden konnte, nichts bis zur Erde herabgefallen.

Die obige Schilderung entspricht der normalen Erscheinung einer Feuerkugel, doch zeigen sich hier wie bei den Kometen sehr viele Abweichungen. So explodieren unter anderem durchaus nicht alle Feuerkugeln; viele verschwinden so, wie sie gekommen sind, nachdem sie einen majestätischen Bogen über die Himmelsdecke beschrieben haben, ohne in ihrer scheinbaren Geschwindigkeit wesentlich gestört zu werden. Andere beschreiben gekrümmte Bahnen, die oft ganz scharfe Kurven und namentlich Schraubenlinien (wie das oben abgebildete Meteor) haben; wieder andere, anstatt eine gegen den Horizont geneigte Bahn zu durchlaufen, wie es die Regel ist, steigen scheinbar gegen den Zenit empor, wenngleich dieser Fall zu den Seltenheiten gehört.

Ein in seiner Art einzig dastehendes Meteor, das wegen seiner Kometenähnlichkeit besonderes Interesse gewinnt, beobachtete am 3. Juli 1845 Jahn in Leipzig. Die Erscheinung war 26 Minuten lang sichtbar und durchlief während dieser Zeit, vom Großen Bären

beginnend, die Sternbilder des Luchses und des Fuhrmanns mit einer Geschwindigkeit, die viel geringer war als alle an anderen Meteoren wahrgenommenen, die selten mehr als einige Sekunden lang leuchten, um dann zu explodieren oder zu verschwinden. Das Gestirn hatte zuerst zwei, dann sogar drei Schweife und leuchtete auch sonst in jenem matten Glanze, den man von Kometen, nicht aber an Meteoren, gewohnt ist. Sogar ein deutlicher Kern war vorhanden, und das Licht des Phänomens schwankte merklich auf und ab. Einer der Schweife war bis 17° lang und 1,5° breit. Gegen das Ende nahm die Helligkeit und damit auch die Länge des Schweifes wesentlich ab, zum großen Teile wohl auch wegen der zunehmenden Tageshelle während der Morgendämmerung gegen 3 Uhr. Der Lauf des Gestirns war scheinbar gegen die Sonne gerichtet. Jahn hielt es für einen wirklichen Kometen, der der Erde ungewöhnlich nahe gekommen war; eine Anschauung, die durch unsere folgenden Betrachtungen unterstützt werden wird.

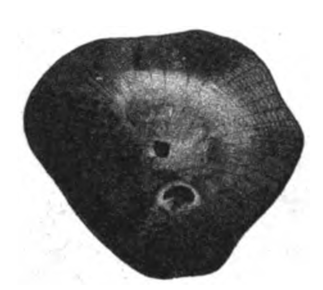


Merkwürdig verschlungene Sternschnuppenbahn, beobachtet am 16. Oktober 1903 in Madrid.

Die meisten Meteore lassen eine leuchtende Spur hinter sich zurück, die bis zu einer halben Stunde am Himmel sichtbar bleiben kann. Dieser Umstand würde, solange die geometrische Bestimmung nicht alle Zweifel darüber vernichtet hat, einen augenscheinlichen Beweis dafür abgeben, daß diese Körper durch ein widerstehendes Mittel, wahrscheinlich also unsere atmosphärische Luft, hindurchgehen, wobei sie infolge der starken Reibung in einen leuchtenden Zustand versetzt werden: dieser Zustand kann übrigens nicht nur durch die erzeugte Hitze, sondern auch durch elektrische Erregung hervorgebracht werden.

Alle bisher angeführten äußeren Merkmale teilen die Meteore mit den Sternschnuppen, die auch geradlinige sowohl wie krumme Bahnen mit verschiedener und wechselnder Geschwindigkeit durchlaufen; auch ihr Lauf ist in den bei weitem meisten Fällen gegen den

Horizont geneigt, und nicht selten lassen sie Schweife hinter sich zurück. Auch Sternschnuppen können zerplatzen, wenngleich dies viel seltener vorkommt als bei den imposanten Erscheinungen der Meteore, und man beobachtet begreiflicherweise wegen der Kleinheit des Vorganges keine Schallerscheinungen; doch ist ein Fall durch Sueß bekannt geworden, wo eine Sternschnuppe zur Erde niederfiel, also einen Meteoritenfall erzeugte. Dies geschah am 31. Juli 1859 vor der Kirche zu Montpreis in Steiermark. Die Bruchstücke, die den Erdboden auf einem talergroßen Flecke schwarz färbten, waren einige Sekunden lang noch so heiß, „daß sich der Bürger Fr. Romich, als er eines davon aufklauben wollte, derb am Finger verbrannte". Da nun die scheinbare Größe der Feuerkugeln von der Ausdehnung der Mondscheibe und noch darüber hinaus bis herab zu derjenigen der größten Sternschnuppen variiert, die man gewöhnlich von der Helligkeit der Venus an als solche anspricht, so mußte man unwillkürlich auf den Gedanken kommen, es existiere überhaupt kein innerer Unterschied zwischen beiden Phänomenen: die Sternschnuppen seien also entweder in Wirklichkeit nur kleinere Feuerkugeln oder auch nur scheinbar kleiner wegen ihrer viel größeren Entfernung. In der Tat wird eine Lichterscheinung, die in den obersten Schichten unserer Atmosphäre vor sich geht, von verschiedenen Orten der Erdoberfläche aus in sehr verschiedener Ausdehnung und Helligkeit gesehen werden. So schreibt Schiaparelli in seinem epochemachenden Werke über „die astronomische Theorie der Sternschnuppen" von dem Meteor von Pultusk, das am 30. Januar 1868 fiel (siehe nebenstehende Abbildung; auch Nr. 1 der farbigen Meteoritentafel bei S. 243 gehört diesem Steinfall an): „Während die Bewohner in der Nähe dieser Stadt von mehreren Tausenden von Steinen bombardiert wurden, ist das Meteor in Breslau wie von einem wahrhaft prachtvollen Feuermeere begleitet beobachtet worden, aber ohne daß eine Detonation bemerkt wurde. In Ragendorf in Ungarn wurde es als ein ungewöhnlich hell leuchtendes Meteor gesehen, welches nahe dem Horizonte zwei- bis dreimal heller als Venus war. An vielen Orten bot der Anfang des Meteors keinen von dem einer Sternschnuppe verschiedenen Anblick dar. Es ist wohl glaublich, daß an noch weiter entlegenen Orten das Meteor von Pultusk die Erscheinung einer gewöhnlichen Sternschnuppe wird dargeboten und gerade aus diesem Grunde die Aufmerksamkeit der Beobachter nicht auf sich gelenkt haben."

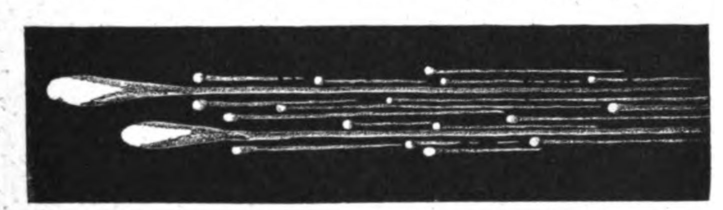


Ein Meteorit des Steinfalles von Pultusk.

Mit ihrer Kleinheit nimmt die Anzahl der auftretenden Meteore sehr schnell zu. Wir müssen deshalb annehmen, daß die Grenzen, innerhalb deren man die Größe der Meteore erfahrungsmäßig einzuschließen hat, zunächst nur durch äußere Umstände gezogen wurden. Wenn man wenig oder gar keine Feuerkugeln sah, welche die scheinbare Größe des Mondes wesentlich übertrafen, so ist deswegen doch nicht der Schluß zulässig, daß der Größe der Meteore überhaupt durch die Natur eine obere Grenze gesetzt sei. Nach untenhin ist tatsächlich keine Grenze vorhanden. Der beobachtende Astronom sieht sehr häufig durch das Gesichtsfeld seines Fernrohres Lichtstreifen von ungemeiner Feinheit ziehen, die zweifellos von Sternschnuppen herrühren. Bedenkt man, daß im Gesichtsfeld eines solchen Fernrohres meistens nur einige Hunderttausendstel des Himmelsgewölbes überblickt werden, so muß man schließen, daß teleskopische Sternschnuppen außerordentlich häufig die betreffenden Regionen unserer

Atmosphäre durcheilen und in jedem beliebigen Augenblicke von jedem Standpunkte auf der Erde gesehen werden könnten, wenn sich unser Sehvermögen ohne Anwendung des in diesem Falle räumlich beschränkenden Fernrohres entsprechend verschärfen ließe. Ähnliches kann auch von den bei solchen Phänomenen herabfallenden Körpern behauptet werden. Es fallen, wie wir später sehen werden (s. S. 245), oft ungeheure Mengen feinsten Staubes vom Himmel, dessen mineralogische oder chemische Zusammensetzung ihren meteorischen Ursprung unzweideutig kundgibt.

Im übrigen ist es nur sehr selten gelungen, größere Meteore teleskopisch zu betrachten. Sie kommen zu unverhofft. Bevor man imstande ist, das Instrument auf die Erscheinung zu richten, ist sie schon wieder verschwunden. Nur ein Fall ist bekannt, in dem es Schmidt in Athen gelang, eine größere Bolide im Kometensucher zu verfolgen. Die Erscheinung trat am 19. Oktober 1863 auf und dauerte die ungewöhnlich lange Zeit von 21 Sekunden; 14 Sekunden hindurch konnte Schmidt den wunderbaren Anblick im Fernrohre genießen. Während das Meteor mit freiem Auge ein zusammenhängendes Ganze von etwa dem halben Durchmesser des Mondes zu sein scheint, löste es sich im Fernrohr in zwei Hauptkerne von leuchtendem Smaragdgrün auf, die einen ziemlich großen Abstand zwischen sich hatten, und hinter ihnen her zog eine große Menge kleinerer, ebenfalls grüner Stücke, die feuerrote Schweife zurückließen (s. obenstehende Abbildung). Es zeigte sich bei dieser Gelegenheit deutlich, wie sehr selbst die gewiegtesten Beobachter die Größe solcher plötzlichen Erscheinungen zu überschätzen pflegen. Im Fernrohr, in dem keine Täuschung in diesem Sinne möglich ist, war jeder der beiden Hauptkerne mindestens zwanzigmal kleiner, als Schmidt die ganze Erscheinung mit dem bloßen Auge geschätzt hatte.



Meteor, beobachtet am 19. Oktober 1863 von Schmidt in Athen.

Hier und da ist es möglich gewesen, das Spektroskop auf ein Meteor zu richten, wobei man helle Linien und meist auch, wo die Helligkeit dies zuließ, ein kontinuierliches Spektrum aufblitzen sah. An eine Messung dieser Linien konnte natürlich nicht gedacht werden; man mußte sich damit begnügen, den allgemeinen Eindruck ihrer Farbe und Lage im Gedächtnis festzuhalten, um dann nach Analogien irdischer Spektren zu suchen. Die hellen Linien an sich beweisen die Existenz glühender Gase während der Entwickelung des Phänomens; man sah sie bei Feuerkugeln sowohl als auch bei Sternschnuppen. Das kontinuierliche Farbenband verrät feste Körper, die glühend leuchten. v. Konkoly und Thollon sahen wiederholt die helle Natriumlinie, die ein geübter Beobachter kaum zu verkennen vermag. Das Natrium, jenes den Hauptbestandteil unseres Kochsalzes bildende Metall, fehlt also auch in den kosmischen Meteoren nicht, wie es denn fast überall am Aufbau des Universums teilgenommen zu haben scheint.

Die Photographie hat zur Kenntnis der Meteore bisher nur geringe Beiträge zu liefern vermocht. Wir geben auf Seite 240 eine von Wolf in Heidelberg am 7. September 1891 photographierte Sternschnuppe wieder. Der Genannte, einer der eifrigsten Himmelsphotographen, teilt mit, daß auf allen seinen von 1890 bis 1902 gemachten Aufnahmen,

bei denen der Apparat im ganzen 625,5 Stunden lang gegen den Himmel gerichtet war, sich doch nur 19 Sternschnuppenbahnen verzeichnet finden. Daraus folgt übrigens, daß am ganzen Himmel täglich doch etwa 300 Sternschnuppen bis zur 4. Größenklasse abwärts aufleuchten. Aufnahmen derselben Erscheinung gleichzeitig an verschiedenen Orten sind nur sehr selten geglückt.

Sternschnuppe. Photographisch aufgenommen von M. Wolf, Heidelberg, am 7. Sept. 1891. (Die Querlinie gibt den Deklinationskreis an.) Vgl. Text, S. 239.

Diese wären für die **Höhenbestimmung** der Meteore von der größten Wichtigkeit. Letztere läßt sich theoretisch mit derselben Genauigkeit ermitteln, mit der irgendwelche Feldmeßarbeiten auf der Erde ausgeführt werden. Wir haben auf die betreffenden Methoden näher in unserem zweiten Hauptabschnitt einzugehen. Hier mag der Hinweis genügen, daß zu dieser Bestimmung die scheinbare perspektivische Verschiebung dient, die eine und dieselbe Sternschnuppe für zwei entfernt voneinander aufgestellte Beobachter an verschiedenen Stellen des sternbedeckten Firmamentes erscheinen läßt. Zuerst haben solche korrespondierende Beobachtungen Benzenberg und Brandes in Göttingen 1798 unternommen, indem sie von zwei verschiedenen Standpunkten aus alle gesehenen Sternschnuppen in Karten einzeichneten und die Zeit der Erscheinung vermerkten, um die zusammengehörigen Beobachtungen identifizieren zu können. Die beiden Genannten kamen dabei zu viel größeren Höhen, als man erwartet hatte. Die äußere Grenze der Lufthülle unseres Planeten, in der doch das Aufleuchten der Meteore erfolgen mußte, war aus dem Studium der Dämmerungserscheinungen in eine Entfernung von etwa 80 km über der Oberfläche verlegt worden. Die Sternschnuppen aber blieben fast ausschließlich in größeren Abständen

von der Erdoberfläche. Neuere Untersuchungen von Weiß und dem Amerikaner Newton haben ergeben, daß diese Körper durchschnittlich in Entfernungen von 180—150 km aufleuchten und in 90—100 km wieder verlöschen. Der Durchschnitt also gelangt gar nicht mehr in diejenigen Regionen unserer Atmosphäre, welche die Sonnenstrahlen noch in merklicher Weise zurückzuhalten und diffus zu zerstreuen vermögen. Der Luftmantel aber verliert sich offenbar ohne wahrnehmbare Grenze im leeren Weltraume, so daß die Sternschnuppen selbst in so bedeutenden Höhen noch eine genügende Luftmenge vorfinden, um durch Reibung daran aufzuglühen.

Einzelne Sternschnuppen gehen noch weit über die oben angegebenen Grenzen hinaus. Es ist nach Ermans Untersuchungen anzunehmen, daß in seltenen Fällen Sternschnuppen in Entfernungen von mehr als 700 km auftraten. Aus der meist recht langsamen Bewegung der teleskopischen Sternschnuppen, die schon Schröter in Lilienthal auffiel, und die bei der doch hundert- und mehrfachen Vergrößerung des Fernrohres nicht größer erscheint als eine mit bloßem Auge gesehene Bewegung, glaubte man sogar durch einen Wahrscheinlichkeitsschluß noch auf weit größere Entfernungen geleitet zu werden; doch ist in diesem Falle auch die Deutung zulässig, daß es sich um sehr kleine Individuen handelt, die in der Luft einen entsprechend größeren Widerstand finden und sich deshalb in Wirklichkeit, nicht scheinbar infolge der größeren Entfernung, langsamer bewegen. In einem merkwürdigen Falle hat Wolf in Heidelberg am 12. August 1904 eine Sternschnuppe zugleich in zwei nur um 68 cm voneinander entfernt stehenden Apparaten aufgenommen, und aus der Lageverschiedenheit der Spur auf beiden Platten schließen können, daß ihr Lauf nur in einer Entfernung von 14 bis 4 km lag. Es ist bei den Meteoren der Schluß nicht zulässig, daß die lichtschwächeren im Durchschnitt auch die entfernteren sein müßten. Die mit geringerer Geschwindigkeit die Atmosphäre durchdringenden werden auch durch die Reibung am langsamsten verzehrt werden und können deshalb, schwachleuchtend, am tiefsten zu uns herabkommen; dagegen werden die mit großer Geschwindigkeit behafteten gleich in den oberen Schichten der Luft höchst glänzende Lichterscheinungen bewirken können und durch den dazu nötigen Kraftverbrauch schnell verzehrt werden.

Aus der Geschwindigkeit der scheinbaren Bewegung und der ermittelten Entfernung, aus der wir sie beobachten, kann man die wahre Geschwindigkeit der Meteore, etwa in Kilometern pro Sekunde, ableiten. Man gelangt dabei zu Geschwindigkeiten, die durch irdische Ursachen nicht mehr hervorgebracht werden können, und die durchaus von der Ordnung der an den Himmelskörpern gefundenen Geschwindigkeiten sind. Einige Beispiele von größeren Meteoren, die sich auch in dieser Hinsicht wie die Sternschnuppen verhalten, mögen hier Platz finden.

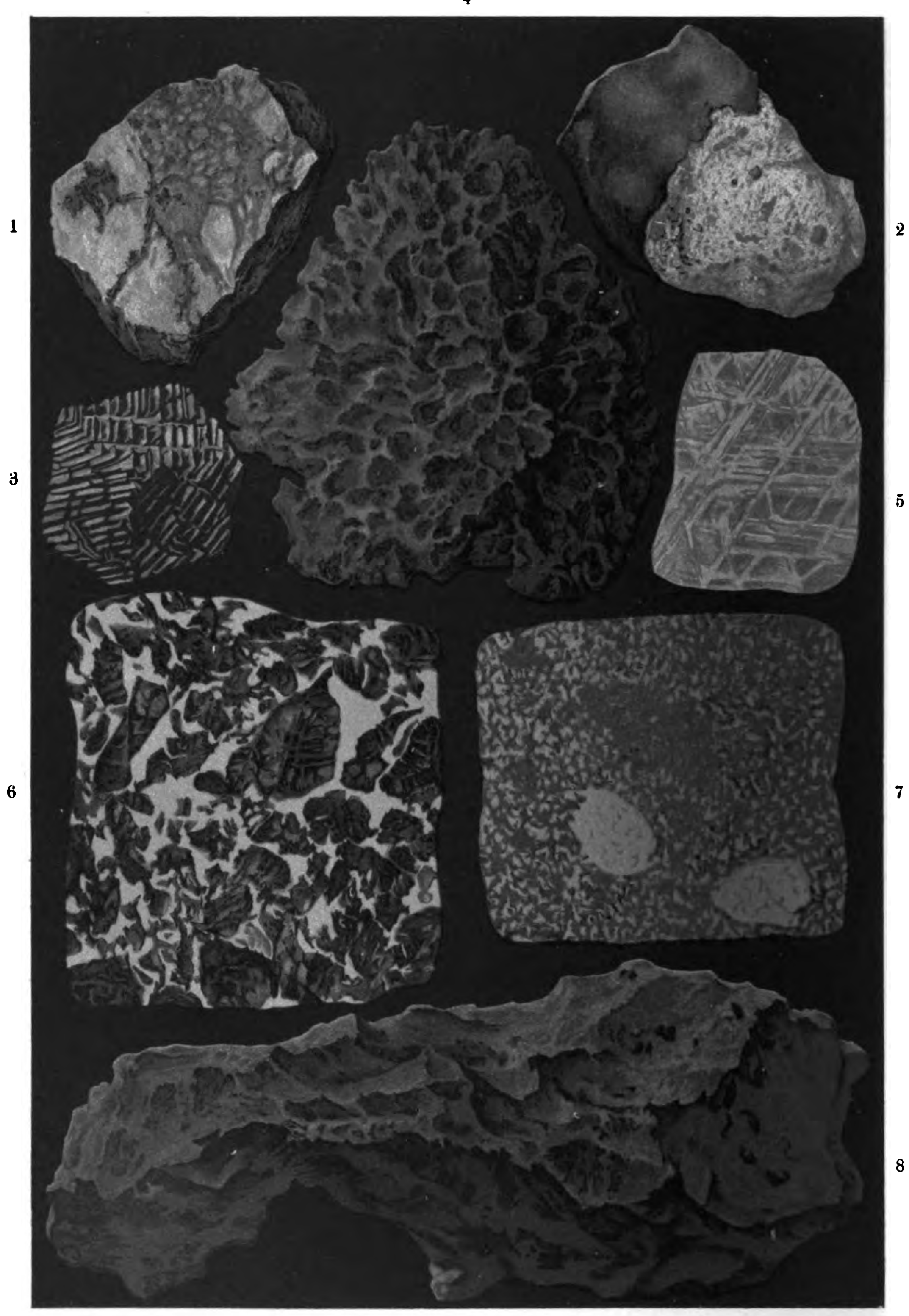
Am 15. Oktober 1889 abends erschien ein ungewöhnlich glänzendes Meteor, das in ganz Deutschland von der österreichischen Grenze im Süden bis im Norden in Stralsund und im Westen in der Rheinprovinz sichtbar war. Aus einer großen Anzahl von guten Beobachtungen vermochte Körber in Berlin die Bahn dieses Körpers recht genau zu ermitteln. Es ergab sich daraus, daß das Meteor in der kurzen Zeit von 3,6 Sekunden nicht weniger als 185 km durchlief, d. h. 50 km in der Sekunde. Unsere modernen Wurfgeschosse bewegen sich etwa hundertmal langsamer; selbst die Erde in ihrer Bewegung um die Sonne hätte dieses Meteor nicht einholen können, da sie nur 30 km in der Sekunde zurücklegt. Wir haben es also hier mit einer kosmischen Geschwindigkeit zu tun und können nicht mehr daran

zweifeln, daß kosmische Gewalten diese Körper ihre Bahn führen. Das erwähnte Meteor zerplatzte, als es etwa 48 km über Nordhausen am Südrande des Harzes stand. Trümmer davon sind indes nicht entdeckt worden.

Bei einem anderen nicht durch besonderen Glanz auffallenden Meteor, das am 7. Juli 1892 über Österreich und Italien hinzog, ergab die Berechnung von v. Nießl die für uns unfaßbare Geschwindigkeit von 87 km per Sekunde, mit der die auf einer Länge von 1100 km sichtbare Bahn durchlaufen wurde. Die Bahn zeigte die sonst nicht wieder beobachtete Merkwürdigkeit, daß sie den vorüberrasenden Körper nach seiner größten Annäherung zur Erde, die in 68 km Höhe über Rumänien stattfand, wieder von ihr entfernte. Erst als er wenige Sekunden später eine Höhe von 158 km über dem Tyrrhenischen Meer erreicht hatte, verschwand er wieder für uns, ohne zu zerplatzen. Man kann deshalb wohl annehmen, daß er in diesem Punkte die Erdatmosphäre wieder verlassen hat. Auf dem ganzen Wege sah man Teile von ihm nach allen Richtungen absprühen.

Wir stehen sonach vor der Tatsache, daß Körper aus den Himmelsräumen mit ungeheurer Geschwindigkeit in unsere Atmosphäre dringen, dort erglühen und dann meistens, nachdem ihre Geschwindigkeit wesentlich abgenommen hat, explodieren. Es ist von vornherein wahrscheinlich, daß die Ursache dieser Hemmung und Vernichtung in dem Widerstand zu suchen ist, den die Luft jenen Körpern entgegenstellt. Über die Wirkungsart dieses Widerstandes liegen von einer Seite her sehr sorgfältige Untersuchungen vor, die weniger friedlichen Zwecken als die himmlische Wissenschaft dienen sollten, nämlich Untersuchungen über den Einfluß der Luft auf ein fliegendes Geschoß. Indem man die für unsere modernen Geschosse, die doch schon mit großen Geschwindigkeiten geschleudert werden, sehr genau theoretisch und experimentell ermittelten Verhältnisse auf die der Meteore übertrug, kam man zu sehr merkwürdigen und klärenden Resultaten. Da man das Gesetz, nach dem die Verdünnung der Luft über die uns noch zugänglichen Höhen hinaus zunimmt, nicht kennt, wäre die Ermittelung des Luftwiderstandes in den für uns unerreichbaren Höhen, in denen die Erscheinungen der Meteore sich abspielen, von unüberwindlichen Schwierigkeiten begleitet gewesen, wenn es sich nicht gezeigt hätte, daß die Abnahme der Geschwindigkeit infolge dieses Widerstandes nur von der Menge der durchdrungenen Luft, nicht von ihrem Dichtigkeitsgrad abhängt.

Es ergab sich aus diesen ballistischen Untersuchungen, daß ein Meteor, das mit einer Geschwindigkeit von 72 km in der Sekunde die ersten Spuren unserer Atmosphäre trifft, diese enorme Geschwindigkeit bereits bis auf einen halben Kilometer verloren hat, wenn es so viel Luft durchdrang, wie dazu gehört, um die Quecksilbersäule eines Barometers auf 12 mm steigen zu lassen. In welcher Höhe nun dieser äußerst geringe Luftdruck von 12 mm noch herrscht, wissen wir nicht, aber wir können mit Bestimmtheit sagen, daß es sich dabei nur um die allerhöchsten Schichten der Atmosphäre handeln kann. Auf der Erdoberfläche ist dieser Druck bekanntlich 760 mm, auf den höchsten Bergen der Erde sinkt er kaum unter 300 mm; es ist hier also immer noch 25mal mehr Luft über unseren Häuptern als in jenen Regionen, wo durch die Reibung die kosmische Geschwindigkeit der Meteore auf eine irdisch nachahmbare vermindert worden ist. Einen Augenblick später aber wird diese Geschwindigkeit gleich Null, und der Körper ist nun den gewöhnlichen irdischen Fallgesetzen unterworfen. Sehr merkwürdig ist noch das weitere theoretische Resultat, daß auch ein mit viel geringerer Anfangsgeschwindigkeit eindringender Körper ungefähr in der



TYPISCHE METEORSTEINE

aus der Sammlung des k. u. k. Hofmuseums in Wien.

Typische Meteorsteine.

1. **Meteorstein,** gefallen am 30. Januar 1868, zwischen Pultusk und Ostralenka, am Narev, Polen, Rußland. Gehört zur Gruppe der grauen Chondrite. Zeigt auf der Bruchfläche breccienähnliche Struktur und metallische Harnische.
2. **Meteorstein,** gefallen am 13. Oktober 1877, Sokobanja bei Alexinać, Serbien. Gehört zur Gruppe der Kügelchenchondrite. Zeigt einen Teil der charakteristischen, schwarzen Schmelzrinde und eine Bruchfläche mit größeren Chondren.
3. **Präparat,** aus dem zur Gruppe der Oktaedrite gehörigen Meteoreisen von Toluca, bekannt vor 1776. Das Bild zeigt ein würfelförmiges Skelett von Bandeisen (Taenit), das aus einem nach den Hexaederflächen geschnittenen, mit Salzsäure behandelten Würfel erhalten wurde und deutlich den oktaedrischen Aufbau des Eisens und das abwechselnde Wachstum der Lamellen nach der einen oder der anderen Oktaederfläche anschaulich macht.
4. **Meteoreisen,** gefallen am 27. März 1886, Cabin Creek, Johnson-Co., Arkansas, U. S. A. Gehört zur Gruppe der oktaedrischen Eisen. Vollständig erhaltene, hochorientierte und bisher schwerste im Fall beobachtete Eisenmasse, die schildförmig gebuckelte Vorderseite mit zahlreichen, fingerartigen Eindrücken (Piezoglypten) zeigend.
5. **Meteoreisen,** gefunden 1888, Welland, Ontario, Kanada. Gehört zu den oktaedrischen Eisen. Geätzte Schnittfläche, die sogen. Widmannstättenschen Figuren zeigend.
6. **Pallasit,** gefunden 1880, Eagle Station, Carrol-County, Kentucky, U. S. A. Übergang von den Steinen zu den Eisen. Polierte Schnittfläche, Kristalle von Olivin, in den Maschen eines zusammenhängenden Eisennetzes liegend.
7. **Mesosiderit,** gefunden um 1856, Mincy, Tancy-County, U. S. A. Übergang von den Steinen zu den Eisen; auf den Schnittflächen kein zusammenhängendes Eisennetz zeigend. Auf der dargestellten polierten Platte liegen zwei große Eisenknollen in der aus Olivin- und Eisenkörnern bestehenden Grundmasse.
8. **Meteoreisen,** gefunden 1884, Youndegin, Subdistrikt Youndegin, 70 Meilen östlich von York, Westaustralien. Großer Monolith im Gewichte von 909 kg, 126 cm Höhe und 68 cm größter Breite. Reichgegliederte Oberfläche, mit cylindrischen Löchern, trichterförmigen Vertiefungen, mehrfachen Durchlochungen und schöner, welliger Erosion, unter Freilegung der Lamellen. Gehört zu den oktaedrischen Eisen. Soll Cliftonit-Knollen (Graphit pseudomorph nach Diamant) führen.

Typische Meteorsteine.

1. **Meteorstein**, gefallen am 30. Januar 1868 zwischen Pultusk und Ostrolenka am Narew, Polen, Rußland. Gehört zur Gruppe der grauen Chondrite. Zeigt auf der Bruchfläche breccienähnliche Struktur und metallische Harnische.

2. **Meteorstein**, gefallen am 13. Oktober 1877, Sokobanja bei Aleksinac, Serbien. Gehört zur Gruppe der Kügelchenchondrite. Zeigt einen Teil der charakteristischen, schwarzen Schmelzrinde und eine Bruchfläche mit größeren Chondren.

3. **Präparat**, aus dem zur Gruppe der Oktaedrite gehörigen Meteoreisen von Toluca, bekannt vor 1776. Das Bild zeigt ein würfelförmiges Skelett von Bandeisen (Taenit), das aus einem nach den Hexaederflächen geschnittenen, mit Salzsäure behandelten Würfel erhalten wurde und deutlich den oktaedrischen Aufbau des Eisens und das abwechselnde Wachstum der Lamellen nach der einen oder der anderen Oktaederfläche anschaulich macht.

4. **Meteoreisen**, gefallen am 27. März 1886, Cabin Creek, Johnson-Co., Arkansas, U. S. A. Gehört zur Gruppe der oktaedrischen Eisen. Vollständig erhaltene, hochorientierte und bisher schwerste im Fall beobachtete Eisenmasse, die schildförmig gebuckelte Vorderseite mit zahlreichen fingerartigen Eindrücken (Piezoglypten) zeigend.

5. **Meteoreisen**, gefunden 1888, Welland, Ontario, Kanada. Gehört zu den oktaedrischen Eisen. Geätzte Schnittfläche, die sogen. Widmanstättenschen Figuren zeigend.

6. **Pallasit**, gefunden 1880, Eagle Station, Carrol-County, Kentucky, U. S. A. Übergang von den Steinen zu den Eisen. Polierte Schnittfläche, Kristalle von Olivin, in den Maschen eines zusammenhängenden Eisennetzes liegend.

7. **Mesosiderit**, gefunden um 1856, Mincy, Taney County, U. S. A. Übergang von den Steinen zu den Eisen; auf den Schnittflächen kein zusammenhängendes Eisennetz zeigend. Auf der dargestellten polierten Platte liegen zwei große Eisenknollen in der aus Olivin- und Eisenkörnern bestehenden Grundmasse.

8. **Meteoreisen**, gefunden 1884, Youndegin, Subdistrikt Youndegin, 70 Meilen östlich von York, Westaustralien. Großer Monolith im Gewichte von 909 kg, 126 cm Höhe und 68 cm größter Breite. Reichgegliederte Oberfläche, mit zylindrischen Löchern, trichterförmigen Vertiefungen, mehrfachen Durchlochungen und schöner, welliger Erosion, unter Freilegung der Lamellen. Gehört zu den oktaedrischen Eisen. Soll Cliftonit-Knollen (Graphit pseudomorph nach Diamant) führen.



gleichen Region unserer Atmosphäre ganz gehemmt wird. Wir haben so das Auftreten des Hemmungspunktes einfach erklärt, in dem die Meteore meist plötzlich still-zustehen scheinen, um dann zu explodieren. Die schraubenförmige Bahn vieler Meteore (s. Abbildung, S. 237) teilen diese mit menschlichen Wurfgeschossen; sie erklärt sich durch verschiedenen Widerstand bei nicht ganz kugelförmiger Gestalt dieser Körper.

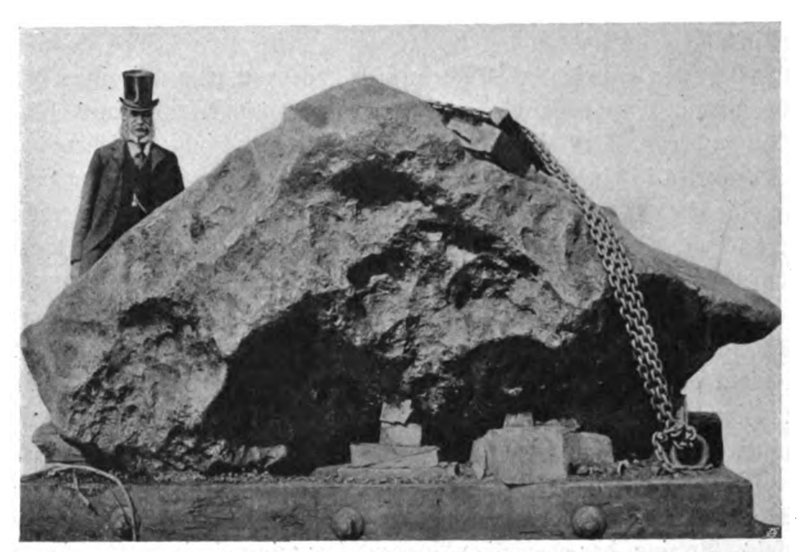
Die ungeheure Energie, die diese Himmelskörper mitbringen und in wenigen Sekunden ganz verlieren, kann nach dem obersten Gesetze alles Weltgeschehens von der Erhaltung der Kraft nicht an sich verloren gehen. Sie muß sich in Wärme umsetzen, die in ebenso enormen Quantitäten durch den gewaltigen Vorgang der Hemmung frei gemacht wird. Diese Wärmeerzeugung tritt uns durch die Lichtentwickelung der Meteore unmittelbar vor Augen. Für eine Feuerkugel, die am 30. Dezember 1905 über England hinzog, und die besonders gut daraufhin untersucht werden konnte, fand man beispielsweise, daß sie eine Lichtstärke von 6,200,000 Kerzen entwickelte. Dazu gehört, wie man nach Prinzipien der Wärmetheorie berechnen kann, eine Kraft, die ausreichen würde, das Gewicht eines Kilogramms um 24,000 km zu heben. Der binnen weniger Sekunden stattfindende Übergang aus der Kälte des Weltraumes in eine Hitze, die imstande ist, Metalle momentan zu verdampfen, erzeugt dann die Explosion des Eindringlings. Durch die Explosion werden zweifellos die meisten Meteore gänzlich in Gase verwandelt; dies ist auch der Grund, weshalb so selten aus ihnen Steine, Aerolithen oder Meteoriten, herabstürzen.

Die letzteren gehören darum zu den kostbarsten Stücken unserer Naturaliensammlungen. Unter den 634 Meteoritenfällen, die bis 1902 bekannt geworden sind, eingeschlossen alle nur in den Chroniken erwähnten, befinden sich etwa 270 Fälle, in denen man die Steine, die man vom Himmel stürzen sah, auch wirklich fand und in unseren Museen aufbewahrte. Dazu kommen noch etwa 170 Steine, die unzweifelhaft Aerolithen sind, obgleich man sie nicht fallen sah. Von diesen 440 Meteoritenfällen besitzt das Wiener Hofmuseum allein 400 Steine, die reichste derartige Sammlung der Welt. (S. die beigeheftete farbige Tafel.) Brezina, der ehemalige Vorstand der mineralogischen Abteilung dieses Museums, erzählt, daß ein einziger unter diesen Steinen, ein Stück Eisen von 39 kg Gewicht, das 1751 in Hraschina bei Agram vom Himmel stürzte, nach den heutigen Preisen für Meteorsteine einen Wert von mindestens 100,000 Gulden habe.

Aber nicht immer sind die Meteoriten mit Freuden als unverhoffte Schätze begrüßt worden, nicht selten waren sie die Ursachen beklagenswerter Unglücksfälle. So wird in chinesischen Annalen berichtet, daß im Jahre 616 zehn Menschen von einem Steinregen getötet wurden; 823 sollen in Sachsen 35 Dörfer durch ein ähnliches Ereignis in Brand gesteckt worden sein. Am 4. September 1511 fielen zu Crema mehr als tausend Steine plötzlich vom Himmel herab, von denen einige mehr als zentnerschwer waren und Vögel, Schafe und Fische, sogar einen Priester erschlugen. In Mailand fiel 1650 ein ganz kleiner Stein in das Kloster Santa Maria della Pace und erschlug einen Franziskanermönch. Mit dem bloßen Schrecken kam zu Siena ein Kind davon, dem am 16. Juni 1794 von einem Meteorsteine der Hut durchbohrt wurde.

Daß diese Steinmassen, auch wenn sie größere Dimensionen haben, keineswegs mit großer Wucht den Erdboden treffen und verhältnismäßig keine großen Löcher in ihn schlagen, ist uns nach dem Obigen verständlich; der Luftmantel schützt uns auch in diesem Falle wieder ausgleichend vor Ungemach, das leicht eintreten könnte, wenn die ursprünglich oft wohl

recht großen Körper mit ihrer kosmischen Geschwindigkeit auf unseren Erdboden schlügen. Die ungeheure Wärmemenge, die sie doch erst im Lauf einiger Sekunden an einen elastischen Körper abgeben, wodurch sie sich zum größten Teil oder ganz in für uns ungefährlichen Dunst in den höchsten Schichten der Luft auflösen, würde durch den Anprall auf die Erdoberfläche bei Abwesenheit einer schirmenden Lufthülle momentan entbunden werden. Nicht nur mächtige Erdbeben würden die Folge solcher Katastrophen sein, sondern es würden auch die Gesteinsmassen der Erdrinde an der Stoßstelle in glühenden Fluß geraten müssen, der kosmische Körper tief in dieselben einzudringen vermögen und vielleicht sogar eruptive vulkanische Erscheinungen auslösen können. Die zurückgelassene tiefe Grube würde dann eine große Ähnlichkeit mit einem Mondkrater gewinnen, wenn man sich den erzeugenden Meteoriten genügend groß und rund denkt. Da nun in Wirklichkeit der Mond keine Atmosphäre hat, kann man sich, wie wir später näher sehen werden, diese Gebilde dort auf eine ähnliche Weise entstanden denken.



Der „eiserne Berg“ von der Melvillebai. Nach Photographie. Vgl. Text, S. 245.

Unsere Dunsthülle aber wirkt wie ein unüberwindlicher Puffer gegen alle noch so heftigen Stöße von außen her und hält sie entweder ganz von der Oberfläche fern, oder schwächt sie doch erheblich ab. Dessenungeachtet kann man die Möglichkeit nicht bestreiten, daß einmal ein weltkörpergroßer Meteorit den Weg unserer Erde durchkreuzen könne, dessen Masse und Gesamtenergie zu groß ist, als daß er von den hemmenden Wirkungen der Atmosphäre zum größeren Teile verzehrt werden könnte. Solch ein Eindringling dürfte dann allerdings die Ursache eines Untergangs unserer Menschenwelt und ihrer Werke werden. Nach unseren bisher über diese Körper gesammelten Erfahrungen wächst jedoch die Armut des Weltenraumes an solchen sporadischen Himmelskörpern sehr schnell mit ihrer Größe, so daß ein gefährlicher Zusammenstoß der Wahrscheinlichkeit nach in vielen Hunderttausenden von Jahren kaum einmal stattfinden wird.

Der größte Meteorit, den man jemals fallen sah, wiegt 325 kg und erreichte am 12. März 1899 bei Borgo in Finnland die Erde. Er zerschlug das dreiviertel Meter dicke Eis am Meeresufer und wühlte sich dann noch 6 Meter tief in den Tonboden des Meeresgrundes ein. Der nächstgrößte Stein ging am 6. Juni 1866 beim Orte Knyahinga in Ungarn nieder und wog 250 kg, nach anderen 290 kg. Man fand aber noch viel schwerere Steine, die man ihrem ganzen Charakter nach für Meteorite erklären mußte. Unter diesen ist der

sogenannte „eiserne Berg“ der größte, von dem die Eskimo der Melvillebai sich eiserne Waffen machten. Dadurch erfuhr schon der Polarfahrer Roß 1818 davon, 1894 fand ihn Peary, und 1903 wurde er unter großem Kostenaufwande nach New York geschafft. Er wiegt an 40,000 kg. Unsere Abbildung auf Seite 244 zeigt ihn, wie er seinen Einzug in die amerikanische Metropole hält. Einen anderen Eisenblock von 15,000 kg fand man in Mexiko, noch einen in Oregon in Nordamerika von 10,000 kg. Im Cañon Diablo in Arizona entdeckte man 1891 eine große Anzahl von Eisenmeteoriten, von denen die größten 425, 300 und 150 kg wogen, und die um ein gewaltiges Loch von 190 m Tiefe und 3,4 km Umfang zerstreut lagen. Es ist kaum zu bezweifeln, daß dieses einem Mondkrater ungemein ähnliche Loch, das auch den entsprechend aufgeworfenen Rand besaß, von einem mächtigen Meteoriten hervorgebracht wurde, der vielleicht erst bei seiner Berührung mit dem Erdboden explodierte. Von allen Spuren, welche die Erdrinde von den Wirkungen eines Zusammenstoßes mit einem anderen Weltkörper zurückließ, würde dies, soweit bekannt, die bedeutendste sein.

Kleinere Steine werden viel zahlreicher gefunden als große, nur die ganz kleinen sind wieder seltener, was sich einfach durch ihr schwieriger werdendes Auffinden erklärt. Wie schwer es in der Tat ist, solche gefallenen Steine im freien Felde zu finden, mag daraus erhellen, daß bei Gelegenheit einer 1833 über Blansko in Mähren zerplatzten Feuerkugel 120 Mann 600 Arbeitstage darauf verwenden mußten, um schließlich sieben Steinchen von insgesamt 300 Gramm Gewicht als Beute heimzubringen.

Daß indes bei den Steinregen gelegentlich auch ganz kleine Stücke mit herabfallen, also der Kleinheit der Meteoriten nicht etwa eine bestimmte Grenze gesetzt ist, zeigte sich bei dem Falle von Heßle (Schweden), wo 1869 eine Anzahl von Meteorsteinen auf die Eisdecke des Arnö-Sees fielen, so daß sie leicht aufzufinden waren. Man fand darunter Steinchen von $^1/_{17}$ Gramm Gewicht. In ungeheuern Mengen aber fällt Materie in dem Zustande allerfeinsten S t a u b e s aus der Luft herab und verrät durch ihre Zusammensetzung ihren außerirdischen Charakter, während sich andere Staubfälle gelegentlich durch vulkanische Ausbrüche erklären ließen. Namentlich kann man in den einsamen Regionen des hohen Nordens, wohin die vielfachen Vermischungen der Luft durch den ruhelosen Menschen nicht mehr gelangen können, und wo eine weitgedehnte Schneedecke die herabgefallenen Massen leicht sichtbar macht, häufig Spuren solcher Meteorstaubfälle antreffen, die infolge des Oxydierens der beigemengten Eisenteile (viele Staubfälle bestehen ausschließlich aus gediegenem pulverisierten Eisen) den Schnee oft auf weite Strecken rot färben. Nordenskiöld hat sich dem Studium dieser Staubfälle eingehend gewidmet und berichtet unter anderm von einem solchen Falle, der sich am 3. Mai 1892 ereignete, und dessen Spuren in Dänemark, Schweden, Norddeutschland und Finnland auf einem 1650 km langen und 300—500 km breiten Gebiete zu verfolgen waren. Er schätzt die damals gefallene Menge Staub auf 500,000 Tonnen.

Unser Gewährsmann führt noch folgende Staubfälle an: Am 6. November 1472 senkte sich auf Konstantinopel eine schwarze Wolke herab, aus der eine handhohe Schicht unangenehm riechenden heißen Staubes niederfiel. Am 3. Dezember 1586 fiel bei Verden in Hannover unter Donner und Blitz ein schwarzer Staub, der so heiß war, daß er Bretter verkohlte. Eine rote Wolke verfinsterte am 13. und 14. März 1813 große Gebiete im südlichen Italien, „so daß man um 4 Uhr nachmittags Licht anzünden mußte und das Volk nach den

Kirchen eilte, in dem Glauben, die Welt werde untergehen. Aus dieser Wolke fielen bei Cutro in Kalabrien Meteorsteine und an vielen Stellen in Italien ein roter Regen nebst einem ziegelbraunen Staube nieder." Die chemische Untersuchung dieses Staubes ergab außer anderen Stoffen auch Chrom, das wohl in Meteorsteinen, niemals aber in vulkanischem Staub gefunden wird. Ähnliche Fälle werden weiter noch 1819 aus verschiedenen Orten Süd- und Nordamerikas, vom 30. Oktober 1814 von der Mündung des Lorenzstromes und 1881 von Jenisseisk (Sibirien) gemeldet. Es mag hier gleich eingefügt werden, daß auch Salz gelegentlich vom Himmel fällt: „Am 30. August 1870 fand ein äußerst heftiger Salzhagelfall in Gegenwart dreier Augenzeugen bei der Lucendrobrücke auf der Höhe des Gotthardpasses statt. Die Hagelkörner fielen bei einem frischen Nordwinde während einer Zeit von ohngefähr fünf Minuten nieder."

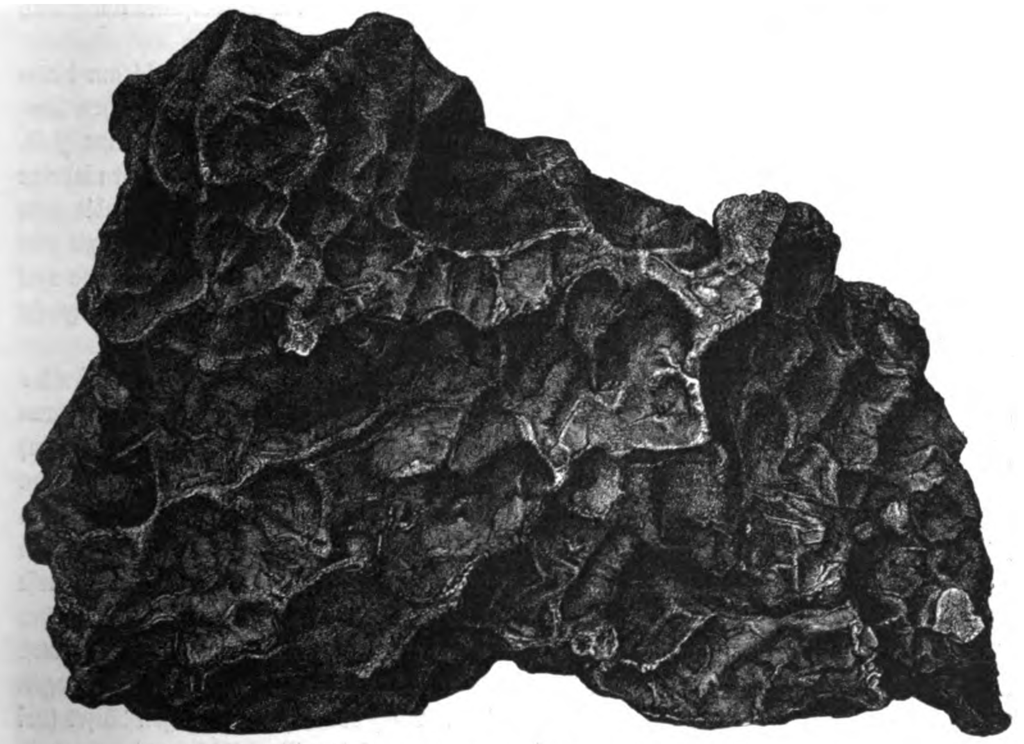
Übrigens sind die Sternschnuppen kaum von wesentlich höherer Ordnung als dieser meteorische Staub, denn es konnte durch sinnreiche Anwendung des Gesetzes von der Erhaltung der Kraft aus dem Aufwande von Materie, den die zerstörte Bewegungsenergie zum Erglühen der Sternschnuppen gebraucht, auf die wahre Größe derselben geschlossen werden. Es ergaben sich für die allergrößten Sternschnuppen von der Leuchtkraft der Venus im Durchschnitt nicht mehr als zwei Kilogramm Materie, für die von der Größe eines Sternes erster bis zweiter Größe aber nur sechs Gramm. Wenn also die kleinsten teleskopischen Sternschnuppen nicht erheblich weiter als die helleren von uns entfernt sind, so sind sie wirklich verschwindend kleine Stäubchen, die nur durch ihr heftiges Erglühen uns noch aus so großen Entfernungen sichtbar werden.



Der Meteorit von Butsura, Ostindien. Vgl. Text, S. 247.

Daß nicht immer nur ein oder wenige Steine fallen, sondern gelegentlich auch ganze Steinregen stattfinden, ist vorhin schon erwähnt worden. So sind beispielsweise bei dem berühmten Falle von l'Aigle am 26. April 1803 etwa 2—3000 Steine zugleich herabgestürzt. Man kann nun die Frage aufwerfen, ob diese einem und demselben

Himmelskörper, der in unsere Atmosphäre eindrang und dort explodierte, angehörten, oder ob es in Wirklichkeit ganze Schwärme von solchen Körpern gibt, die gemeinsame Bahnen beschreiben und so gemeinsam zur Erdoberfläche gelangen. Selbst in dem Falle, daß zuerst nur eine Feuerkugel erscheint, die dann zerplatzt und einen Steinregen herabschüttet, wäre man nicht ganz sicher, ob man diese Steine einem einzigen ursprünglichen Individuum zuschreiben dürfte, weil ja das früher erwähnte Meteor, das Schmidt in Athen im Fernrohre sah, seine Zusammensetzung aus verschiedenen nebeneinander hergehenden Körpern verraten hat. In anderen Fällen konnte man dagegen das Zerplatzen unzweifelhaft nach-



Der Eisenmeteorit von Hraschina. Vgl. Text, S. 248.

weisen. Unter den Steinen, die am 12. Mai 1861 bei Butsura in Ostindien fielen, fand man vier Stücke in gegenseitigen Entfernungen von einigen Kilometern, die vollkommen zusammenpaßten, wie die Abbildung auf Seite 246 zeigt. Die ganze Form verrät ferner, daß auch diese Stücke offenbar nur Teile eines noch weit größeren Körpers sind; links zeigt sich eine viertelkreisförmige Bruchfläche, welche die Größe des ursprünglichen Eindringlinges vermuten läßt. In einem anderen Falle paßten zwei Steine an ihren Bruchflächen genau zusammen.

Fallen viele größere und kleinere Steine, so macht man die Wahrnehmung, daß die Ausstreuung auf einer langgestreckten Bahn erfolgt, die dem beobachteten Laufe des vorher gesehenen Meteors entspricht, und daß immer die kleineren Steine zuerst fallen. Dies ist merkwürdig, da man nach dem gewöhnlichen Lauf der Dinge das Umgekehrte annehmen sollte, denn kleinere Körper fallen in der widerstehenden Luft langsamer als große. Wir

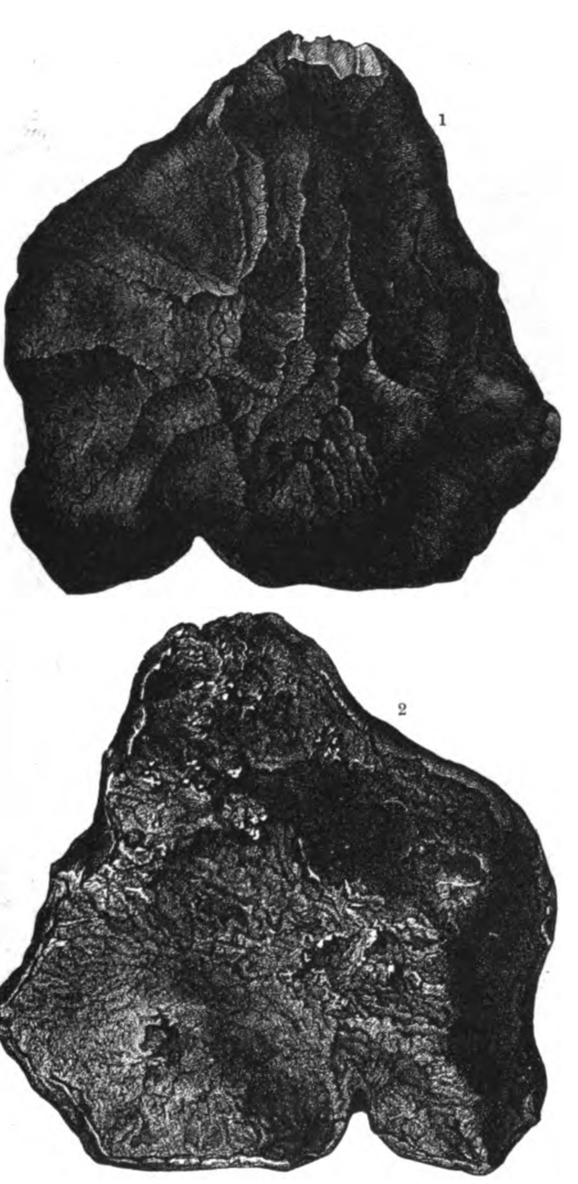
müssen also annehmen, daß die kleineren Steine wirklich früher von dem Hauptkörper abgeschleudert werden als die großen, was auch durch die Wahrnehmung des Sprühens vieler Feuerkugeln auf ihrem Wege vor dem Zerplatzen bestätigt wird. Sprechen die letztangeführten Tatsachen dafür, daß meist wohl die Steinregen ursprünglich einem einzigen Körper angehören, so ist anderseits doch bestätigt worden, daß gelegentlich mehrere parallel laufende Meteore von größeren Dimensionen getrennt in unseren Luftkreis dringen. Man hat oft schnell hintereinander oder in Zwischenzeiten von Stunden und Tagen Boliden dieselbe Straße ziehen sehen; auch die Sternschnuppen pflegen häufig paarweise aufzutreten, und daß zu Zeiten Myriaden Sternschnuppen, aus derselben Gegend des Universums kommend, auf uns eindringen, wird uns gleich noch beschäftigen.

Das Zersplittern derartiger harter Steine in der Luft spricht wohl am deutlichsten für die ungemein heftigen inneren Vorgänge, die sich dort bei der plötzlichen Umsetzung der Bewegung in Wärme abspielen. Die ungeheure Hitze hat offenbar keine Zeit, so schnell bis in das Innere des Körpers einzudringen, der ursprünglich die äußerst niedrige Temperatur des Weltraums besitzen mußte. Es entstehen sehr hohe Spannungen, die zum Absplittern von Oberflächenstücken führen. Wiewohl nun diese Stücke sehr heiß zu uns herabkommen, so ist doch wenigstens bei einer Gelegenheit, als man beim Steinfalle von Quenggouk in Ostindien einen Stein sofort nach seinem Herabstürzen zerschlug, seine große Kälte im Innern nachgewiesen.

Die plötzliche Erhitzung geht auch deutlich aus der stets sehr dünnen Schmelzrinde hervor, die alle Meteoriten mit einem schwarzen Überzug umgibt und ihnen mit ihren fingermalartigen Eindrücken das Aussehen von Schlacken verleiht. Auf unserer farbigen Tafel bei S. 243 ist bei Nr. 2 die Schmelzrinde teilweise zu sehen. Man konnte diese Schmelzkruste künstlich nur durch ganz plötzliches und starkes Erhitzen erzeugen. Die erwähnten fingermalartigen Eindrücke sind gleichfalls deutliche Merkmale des plötzlichen Schmelzprozesses. Der auf Seite 247 abgebildete große Meteorit von Hraschina zeigt diese Eindrücke sehr deutlich. Ein normaler Meteorit ist stets etwas konisch zugespitzt und hat eine Brust- und eine Rückenfläche. Nur die erstere weist die Fingereindrücke auf. Die Abbildung auf Seite 249 zeigt an einem Meteoriten aus dem berühmten Steinregen von Stannern (22. Mai 1808) diese beiden Seiten. Auch der auf der farbigen Tafel (bei S. 243) dargestellte Meteorit Nr. 4 läßt die Eindrücke auf der Brustfläche gut erkennen.

Nachdem die kosmische Natur der Meteoriten außer allen Zweifel gestellt ist, erscheint es um so wunderbarer, daß man in ihnen keinerlei chemische Elemente vorfand, die man nicht auch sonstwo auf der Erde gefunden hätte. Nur ihre mineralogische Zusammensetzung weicht von diesen ab. Sie sind aber im allgemeinen der unserer tiefsten Erdschichten ähnlich. Man teilt sie in zwei Hauptgruppen, die Stein- und die Eisenmeteoriten. Die ersteren haben im allgemeinen den Charakter unserer kristallinischen Urgesteine, besitzen aber in der Regel noch eine höhere Dichte. Da letztere auf der Erde mit der Tiefe beständig zunimmt, so liegt der Schluß nahe, daß man in für uns unzugänglichen Tiefen Gesteinsarten finden würde, die mit den Meteoriten noch größere Ähnlichkeit besäßen. Viel wahrscheinlicher kann das für die Eisenmeteoriten gemacht werden, die Eisen gediegen, doch stets mit Nickel gemischt, enthalten. Gediegenes Eisen trifft man in den Erdschichten nur höchst selten an, ja man glaubte früher überhaupt nicht an sein irdisches Vorkommen. In neuerer Zeit sind indes Eisenadern entdeckt worden, die ihren Ursprung

wahrscheinlich in den tiefsten Tiefen unseres Erdkörpers haben. Die ehemals für meteorisch gehaltene Eisenmasse von Ovifak in Grönland scheint aus diesen Adern herzustammen. Da nun die Dichtigkeit der gesamten Erdkugel, die wir in unserem zweiten Hauptabschnitt ermitteln werden, eine viel größere ist als die der uns zugänglichen Oberflächenschichten, so müssen wir annehmen, daß im Inneren außerordentlich schwere Stoffe, zu denen die gediegenen Metalle gehören, aufgespeichert sind. In diesem Sinne weisen also auch die Eisenmeteoriten auf die Tiefen unseres Erdkörpers hin.

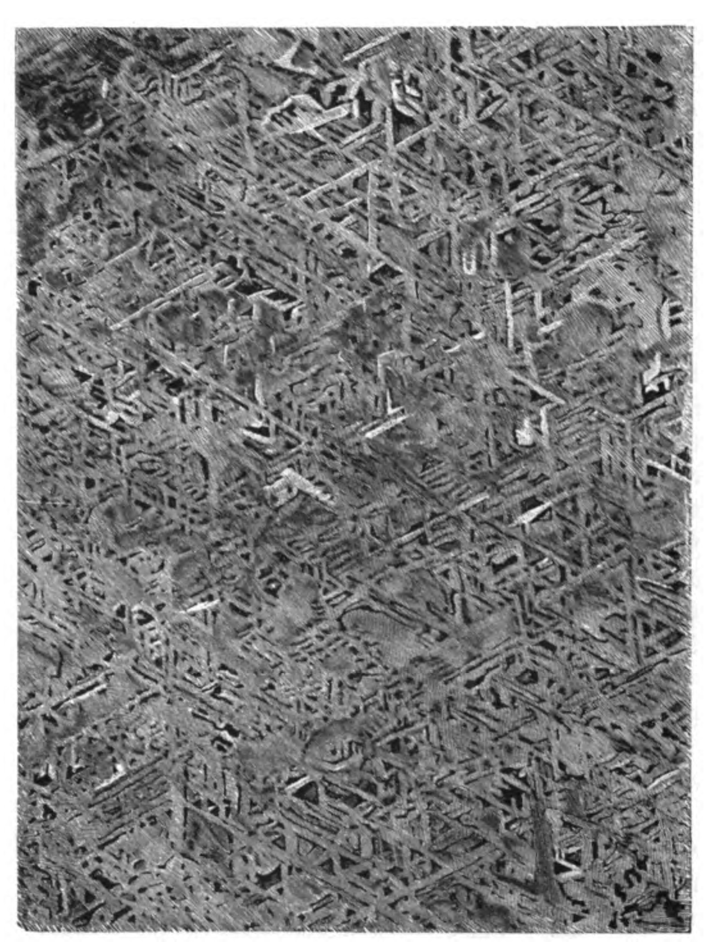


Ein Meteorit von Stannern: 1) Brustseite, 2) Rückseite. Vgl. Text, S. 248.

Obgleich unter den 440 Fällen, von denen man in den Sammlungen Meteoriten besitzt, sich 157 Eisen- und 283 Steinmeteoriten befinden, die letzteren also nicht wesentlich vorherrschen, so ist es doch sicher, daß bedeutend weniger Eisenmassen als Steine aus dem Weltraume zu uns gelangen; denn nur 8 von diesen Eisenmassen (unter ihnen den von Hraschina) sah man wirklich fallen, gegen 262 beobachtete Steinfälle. Dagegen fand man nachträglich 149 Eisenstücke und nur 21 Steine meteorischen Charakters. Der Grund dieses eigentümlichen Mißverhältnisses ist in der Verwitterung zu suchen, welche die Steine weit mehr angreift als die Eisenmassen, die sich infolge der schnell gebildeten, schützenden Oxydschicht fast unverändert erhalten.

Folgende Stoffe fand man bis jetzt in Aerolithen auf: Wasserstoff, Kohlenstoff, Stickstoff, Sauerstoff, Schwefel, Phosphor, Chlor, Natrium, Kalzium, Silizium, Kalium, Magnesium, Aluminium, Mangan, Eisen, Nickel, Kobalt, Arsen, Chrom, Kupfer, Zinn, Titan, Argon, Helium. In neuerer Zeit sind auch (von Hasselberg) Spuren von Platin und Iridium und auch von dem auf der Erde so sehr seltenen Vanadium gefunden worden. Argon und Helium sind bekanntlich erst vor kurzer Zeit auf der Erde überhaupt entdeckt worden. Das Argon ist ein beständiger Teil unserer atmosphärischen Luft und vom

Stickstoff nur schwer zu trennen, weshalb es von vornherein wahrscheinlich war, daß Argon auch in den stickstoffhaltigen Meteoriten enthalten sei. Die Geschichte des Heliums werden wir in dem Kapitel über die Sonne ausführlich kennen lernen. Es ist einer der schönsten Triumphe der Überzeugung von der Gleichheit aller weltbildenden Stoffe, daß dieses Element, das man bisher nur spektroskopisch auf der Sonne und einigen Fixsternen wahrnahm, nach langem vergeblichen Suchen nicht nur in irdischen Stoffen, sondern selbst in den Meteoriten entdeckt worden ist, die, wie wir bald sehen werden, ihren Ursprung weit außerhalb des Sonnensystems in den Tiefen der Fixsternwelt haben. Höchst wunderbar ist es, daß trotz sorgfältigster Analysen, die namentlich von Cohen in Greifswald an fast sämtlichen Meteoriten vorgenommen wurden, sich kein einziges uns unbekanntes Element gefunden hat. Da wir nun durchaus nicht annehmen können, daß uns alle Elemente, die am Aufbau unserer Erde teilnahmen, bekannt sind, so dürfen wir den Schluß ziehen, daß auch das Verhältnis, in dem seltene und vielverbreitete Stoffe bei uns auftreten, ungefähr das gleiche in jenen Himmelskörpern ist, von denen uns Proben in den Aerolithen vorliegen. Daß noch längst nicht alle irdischen Elemente in ihnen wiedergefunden sind, darf nicht überraschen, da die meisten der verbreiteten Elemente in unserer obigen Liste enthalten und anderseits doch die untersuchten Mengen meteorischer Stoffe nur gering sind. Höchstens könnte das Fehlen von Blei und Zink auffallen.

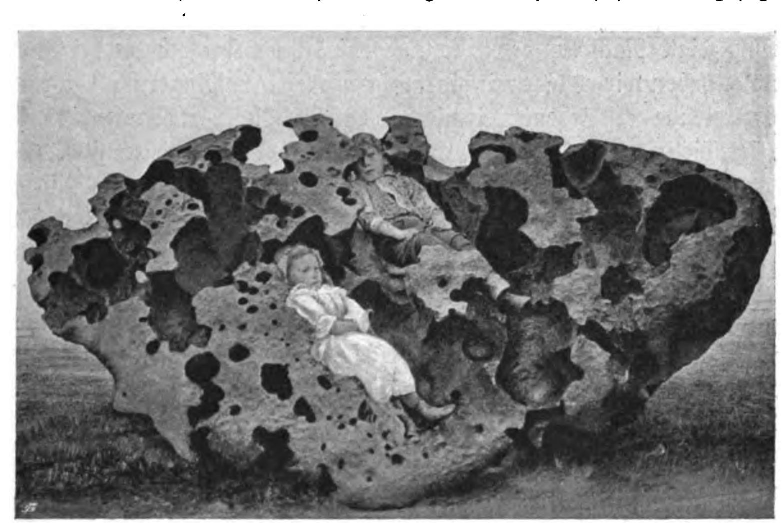


Widmannstättensche Figuren im Meteoreisen. Vgl. Text, S. 251.

Der Kohlenstoff kommt in den Meteoriten in Form von Graphit und kristallisiert, als Diamant, vor. In letzterer Form fand ihn Friedel in dem schon erwähnten Meteoriten des Cañon Diablo. Es war ganz feiner (karbonisierter) Diamantstaub. Der Entdecker glaubt, daß sich dieser Staub aus der Kohle direkt gebildet habe. In der Tat ist es kürzlich

gelungen, aus Graphit unter sehr hohem Drucke ähnliche sehr kleine Diamanten künstlich zu erzeugen.

Das Vorkommen von Kohle überhaupt in den Aerolithen ist höchst merkwürdig. Auf der Erde tritt Kohle nur dort auf, wo organische Stoffe verkohlt wurden. Ist nun auch in den vom Himmel gefallenen Steinen die Kohle organischen Ursprunges, und beweist sie uns dadurch das Vorhandensein empfindender Geschöpfe auch außerhalb unseres kleinen Planeten? Die große Frage kann leider nicht bestimmt beantwortet werden, da sichere Spuren organischer Formen in Meteoriten nicht entdeckt wurden. Die Spuren von Korallen und Urtieren verschiedener Art, die man früher gefunden zu haben glaubte, sind inzwischen anders gedeutet worden. Daß die Meteoriten den kristallinischen Gesteinen verwandt sind, in denen man auch auf unserer Erde keine versteinerten Reste von Organismen findet, ist bereits gesagt worden. Auf jenen Weltkörpern also, von denen uns diese Proben vorliegen, hatte das Wasser die gesteinumgestaltende und lebenerweckende Arbeit nicht geleistet, welche die irdischen Sedimentschichten und die darin eingebetteten Wesen schuf, wenigstens soweit diese Proben davon Kunde geben.



Das Eisen von Oregon. Nach Photographie. Vgl. Text, S. 252.

Selbst die Mischungsverhältnisse, durch die bei uns die verschiedenen kristallinischen Gesteine gebildet wurden, wiederholen sich in vielen Meteoriten genau, während andere wesentlich abweichen. Zu letzteren gehören der aus Eisenchlorür bestehende sogenannte Lawrencit, der aus Eisen, Nickel und Phosphor bestehende Schreibersit, der Daubréelith (Chromeisen) und namentlich das Nickeleisen der eigentlichen Eisenmeteoriten. Nickel kommt zwar auch in den irdischen Eisenerzen fast immer vor, aber bei weitem nicht in so großem Prozentsatz, vor allem nicht in ähnlich kristallinischer Form. Durch diese entstehen die sogenannten Widmannstättenschen Figuren (s. die Abbildung auf S. 250 und Nr. 5 der farbigen Tafel bei S. 243), die erscheinen, wenn man einen solchen Stein anschleift und die Fläche mit verdünnter Salpetersäure ätzt. Die Säure frißt dabei die angreifbareren Teile heraus und läßt ein schönes kristallinisches Gefüge der härteren Stoffe sichtbar werden, das kein der Erde ursprünglich angehörendes Gestein aufweist. Man kann sie indes künstlich erzeugen, wenn man Eisen und Nickel, im richtigen Verhältnis gemischt, zu einem künstlichen Eisenmeteoriten zusammenschmilzt. Diese kristallinische Struktur in den Meteorsteinen ist ein sprechender Beweis für die gleichartige Gültigkeit der geheimsten Kräfte der Natur, welche die Kristalle bauen.

Von den Eisen- zu den Steinmeteoriten kommen die verschiedenartigsten Übergänge vor, die beweisen, daß nicht etwa getrennte Gruppen von Himmelskörpern die einen oder die anderen geliefert haben könnten. Unsere farbige Tafel bei S. 243 enthält verschiedene dieser mineralogisch interessantesten Übergangsformen. Die betreffenden Meteoriten befinden sich sämtlich im Wiener Hofmuseum.

Sehr interessant ist der auf Seite 251 abgebildete riesige Eisenblock, der im Herbst 1902 in einem Urwalde in Oregon gefunden wurde, wo er offenbar schon seit Jahrtausenden lag. Die großen Löcher, in denen auf unserer Abbildung Kinder mit dargestellt sind, um einen Anhalt für die Dimensionen zu geben, sind durch Verwitterung entstanden. Sie enthielten vielleicht Schwefeleisen, wie man es bei anderen Meteoriten fand.

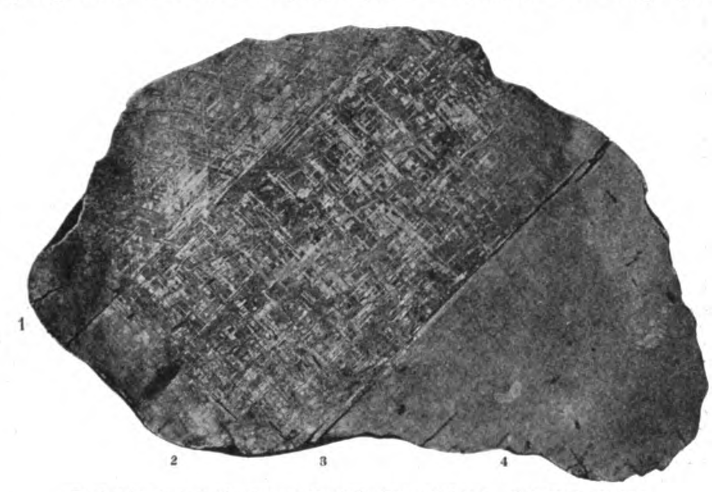
Von einem anderen Eisen, das man kürzlich in Mukerop (Deutsch-Südwestafrika) entdeckte, ist auf Seite 253 ein Querschnitt abgebildet, der eine sehr merkwürdige Gliederung zeigt. Nach Berwerth, dem gegenwärtigen Konservator der Wiener Meteoritensammlung, haben wir es hier mit einem ungeheuern Zwillingskristall zu tun, wie die deutlich hervortretende verschiedene Orientierung der kristallinischen Struktur der einzelnen „Individuen" zeigt, die in der Abbildung durch die Zahlen 1—4 angedeutet sind. So große Kristallindividuen könnten unter irdischen Verhältnissen nicht entstehen. Es ist wahrscheinlich, daß sie sich in einem viel größeren Weltkörper als unsere Erde gebildet haben.

Eine eigentümliche, auf der Erde nicht vorkommende Beschaffenheit besitzen auch die sogenannten Moldavite, die lange als Meteorite zweifelhaft waren. Es sind wie grünes Flaschenglas aussehende Steinchen, die zuerst zu Hunderten an der Moldau (woher sie ihren Namen erhielten) gefunden und für Abfälle von Glasfabriken gehalten wurden. Ihre chemische Untersuchung ergab jedoch, daß es ganz wasserfreie Silikate sind, wie sie derzeit garnicht hergestellt werden können, von ungemeiner Härte und Feuerbeständigkeit. Später hat man ebensolche Steine in Australien und Niederländisch-Indien gefunden, und zwar auf weite Gebiete hin verstreut, wo ihre Herkunft aus Glasfabriken völlig ausgeschlossen war. Die Form dieser Fremdlinge ist durchaus die der übrigen Meteoriten, nur sind die Fingereindrücke und Streifen, entsprechend der größeren Widerstandsfähigkeit, kleiner. Brezina führt zwei Fälle an, wo man ähnliche Steine auch im Falle beobachtet hat. Wir haben in diesen „Glasmeteoriten" die äußersten Glieder der mannigfaltigen Übergänge vor uns, die die Meteoriten von den fast reinen Eisen zu den fast reinen Silikaten aufweisen. Sie müssen auf Weltkörpern entstanden sein, die kein Wasser enthielten.

Vielfach haben die chemischen Analysen der Meteoriten wegen der geringen Mengen verfügbaren Materials spektroskopisch ausgeführt werden müssen. In dieser Hinsicht bemerkenswert sind die Untersuchungen Vogels über die Gase, die den Meteoriten entweichen, wenn man diese erhitzt. Es zeigte sich nämlich dabei dasselbe Kohlenwasserstoffspektrum, das die Kometen besitzen, jedoch gemischt mit einem Kohlenoxydspektrum, das um so mehr dem ersteren Platz machte, je mehr die Erhitzung durch den durchschlagenden elektrischen Funken gesteigert wurde. Vogel ist der Ansicht, daß dieses Spektrum der Meteoritengase sehr viel besser mit dem Kometenspektrum übereinstimmt als das des reinen Kohlenwasserstoffes.

Sollen die Meteoriten nun mit voller Beweiskraft für die Übereinstimmung der weltaufbauenden Materie in den fernsten Gebieten des Universums eintreten, so muß jeder Zweifel darüber beseitigt werden, daß sie aus dem Weltenraume zu uns

gelangen und niemals, auch nicht in einer weit entlegenen Zeitepoche, der Erde angehört haben können. Diese Meinung hatte einmal Lagrange ausgesprochen, und der französische Analytiker Tisserand hat noch vor einigen Jahren eine Lanze für diese veraltete Ansicht gebrochen. Danach sollten diese Steine Auswürflinge unserer Vulkane sein, nicht in dem Sinne, daß sie wie die bekannten vulkanischen Bomben in die Luft geschleudert würden und dann wieder herabstürzten, sondern daß sie einstmals, vielleicht in den grauesten Urzeiten der Erdgeschichte, mit so großer Kraft aus dem Inneren unseres Planeten gestoßen worden seien, daß sie dem Bereiche der irdischen Anziehungskraft dauernd entfliehen mußten, um nun einen Ring von derartigen Körpern in den Umgebungen der Erdbahn zu bilden, der in seiner physischen Zusammensetzung dann dem Saturnringe völlig gleichen würde. Aus diesem Ringe sollten gelegentlich Teile wieder zurück zur Erde fallen. Allerdings hat man festgestellt, daß auch heute noch vulkanische Bomben mit weit größerer Geschwindigkeit geschleudert werden, als unsere geschwindesten Geschosse fliegen, doch ist die Geschwindigkeit niemals so groß gefunden worden, daß ein wirkliches Abschleudern stattfinden könnte. In früheren Epochen ist zwar die vulkanische Tätigkeit unserer Erde sicher viel großartiger gewesen, als wir sie heute kennen; es dürfte indes zu bezweifeln sein, daß bei dem Vorhandensein einer größeren Anzahl von Vulkanen, die den inneren Spannungen doch leichter den Weg öffnen konnten als die wenigen der Gegenwart, die Gewalt der vulkanischen Erscheinungen zugleich gesteigert gewesen wäre. Dagegen würde die mineralogische Zusammensetzung der Meteoriten, die auf tiefere Schichten der Erdrinde als Ursprungsort hinweist, für diese Ansicht nicht ungünstig sein.



Das Eisen von Mukerop (Deutsch-Südwestafrika). Vgl. Text, S. 252.

Nun läßt es sich aber unschwer nachweisen, was auch Tisserand selbst hervorhob, daß Körper, die von der Erde zu irgendeiner Zeit abgeschleudert wurden, niemals mit Geschwindigkeiten zu ihr zurückkehren können, welche die der Erde selbst in ihrer Bahn um die Sonne übersteigen. Mathematisch ausgedrückt dürften die Meteoriten niemals in hyperbolischen Bahnen in die Atmosphäre eindringen, was wir in unseren theoretischen Erörterungen im zweiten Hauptabschnitte verstehen lernen werden. Inzwischen ist aber durch immer genauere Kenntnis der Meteorbahnen, die namentlich durch den Amerikaner Newton und durch v. Nießl in Brünn gefördert wurde, mit aller Bestimmtheit nachgewiesen worden, daß sogar die *meisten Meteore in stark hyperbolischen Bahnen* einhergehen, eine Eigentümlichkeit, die sie in so ausgeprägter Weise mit keiner anderen Klasse von Himmelskörpern teilen, denn die sehr wenigen Kometen mit hyperbolischen Bahnen

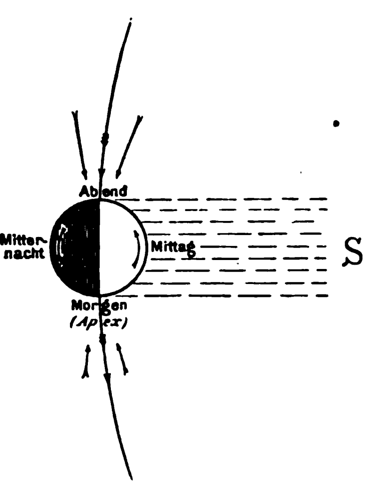
zeigen diese Eigenschaft nur in schwachem Maße. Es ist deshalb eher anzunehmen, daß wenigstens eine große Anzahl von Meteoren, die unsere Atmosphäre kreuzen, von Gegenden zu uns gelangen, in denen selbst die Kometen aus dem Bereich der Sonnenwirkung treten oder aus den Tiefen der Sternenwelt unter die Herrschaft des Tagesgestirns gelangen. Wie unvorstellbar weit sich diese Wege bemessen, davon werden wir in den nächsten Kapiteln mehr erfahren.

Die Unabhängigkeit der Meteore von der Erde muß sich aber noch durch die Art ihrer Verteilung und ihrer Häufigkeit nachweisen lassen, wenn wir in Betracht ziehen, daß auch die Erde eine Bewegung im Raum um die Sonne und um sich selbst ausführt. Wären die Meteore nämlich irdischen Ursprungs in dem Sinne der alten Ansichten (mit Ausnahme der von Lagrange), so müßten sie an allen Bewegungen der Erde teilnehmen. Der tägliche Umschwung der Erde um ihre Achse gibt sich durch den Auf- und Untergang der festen Gestirne kund, die jährliche Umlaufsbewegung um die Sonne bewirkt dagegen eine ganz bestimmte Stellung, die wir mit unserem Planeten im Raume immer wieder an einem und demselben Datum jedes Jahres in bezug auf die Sonne einnehmen. Sind also die Meteore im Raume ungleich verteilt, so wird sich dies durch ihre verschiedene Häufigkeit an verschiedenen Tagen des Jahres ausdrücken, die sich jedes Jahr an demselben Datum wiederholt. Außerdem entsteht eine eigentümliche Erscheinung durch die Verbindung der beiden Bewegungen der Erde. Die Abbildung auf Seite 255 veranschaulicht zunächst, in welchem Sinne die beiden Bewegungen stattfinden. Wir ersehen daraus auch unmittelbar, daß diejenigen Teile der Erde, die in ihrer jährlichen Bewegung im Raume vorausgehen, sich immer in den Morgenstunden befinden, während die Abendseite hinter sich den leeren Raum zurückläßt. Man hat den Zielpunkt der jährlichen Bewegung der Erde am Himmel den Apex genannt. Sind nun die Meteore im Raum ungefähr gleichmäßig verteilt, so muß für ihr Zusammentreffen mit der Erde eine Auslese stattfinden, die in ganz bestimmter Beziehung zu diesem Apex steht. Mit der Morgenseite der Erde können nur die Meteore nicht zusammentreffen, die sich schneller als sie selbst und zugleich in derselben Richtung bewegen; auf der Abendseite aber können nur Meteore für uns sichtbar werden, die schneller laufen als wir und uns einholen. Sind die Meteore also unabhängig von den beiden Erdbewegungen, so müssen sie in den Morgenstunden viel häufiger auftreten als am Abend. Wir erkennen aus diesen Betrachtungen, daß eine sorgfältige Statistik dieser Erscheinungen zu den wichtigsten Schlüssen über die Natur und kosmische Stellung der schießenden Sterne und ihrer größeren Verwandten führen kann.

Für die größeren Meteore werden bei der Seltenheit dieser Erscheinungen Gesetzmäßigkeiten in dieser Hinsicht schwer zu ermitteln sein. Meteorsteinfälle ereignen sich, seit man die Aufmerksamkeit schärfer auf sie gelenkt hat, etwa fünf im Jahre. Hieraus kann man indes nur mittelbar auf die wirkliche Anzahl der überhaupt auf die Erde fallenden Steine schließen. Wir haben zunächst anzunehmen, daß in der Nachtzeit ebensoviel Fälle unbemerkt vorübergehen, als man am Tage beobachtet. Ferner verhält sich der Teil der Erdoberfläche, der von zivilisierten Menschen bewohnt ist, zu dem, auf welchem Ereignisse dieser Art ganz unbeachtet vorübergehen würden, wie 1:100. Wir können also aus den fünf jährlich beobachteten Steinfällen, ohne uns einer Übertreibung schuldig zu machen, schließen, daß in Wirklichkeit gegen tausend Steine vom Himmel fallen, oder daß die Erde täglich etwa mit zwei bis drei solcher kosmischen Geschosse bombardiert wird. Kommen nun zu jenen fünf

Steinfällen noch eine Anzahl Meteore größerer Dimensionen, von denen keine Stücke herabfallen, so bleibt ihre Zahl doch immer noch zu klein, um eine tägliche Periode der Häufigkeit daraus mit Bestimmtheit nachweisen zu können. Aber eine jährliche Periode ist unzweifelhaft vorhanden. Im Herbst unserer nördlichen Halbkugel erscheinen mehr große Meteore als im Frühjahr, und die Kontrolle auf der südlichen Halbkugel bestätigte nach Neumeyer, der in Melbourne entsprechende Beobachtungen anstellte, diese Steigerung in derjenigen Jahreszeit, für die der Südpol bei der Erdbewegung um die Sonne vorangeht.

Diese Tatsache darf aber nicht zu dem Schlusse führen, daß sich in den Räumen, welche die Erde im Herbst durcheilt, mehr dieser Körper befänden als in der Frühlingsgegend der Erdbahn, sondern sie hängt mit der Apexrichtung zusammen, die mit den Jahreszeiten wechselt. Wir können hier diese Verhältnisse nur andeuten, um uns nicht zu weit in die Lagenverhältnisse der Himmelskörper einzulassen, die der Gegenstand des zweiten Teiles des Buches sein sollen. Durch die geneigte Lage der Erdachse zur Erdbahn, die sogenannte Schiefe der Ekliptik, wird bewirkt, daß der Apex der Erdbewegung in unserem Herbst viel länger über dem Horizont der nördlicheren Breiten bleibt als im Frühjahr. Da nun die Aussichten, einem Meteore zu begegnen, in der Richtung des Apex die größten sind, so bleibt diese Möglichkeit im Herbste längere Zeit bestehen, und weil in der Richtung des Apex sich die Bewegung des Meteors zu der der Erde addiert, so müssen wir aus dieser Richtung die Meteore mit ihren größten relativen Geschwindigkeiten kommen sehen. Dies wird durch die Beobachtung bestätigt. Namentlich zeigt sich die interessante Erscheinung, daß im Herbste, wo wir die meisten Meteore aus der Umgebung jenes Apexpunktes erhalten müssen, ihr Hemmungspunkt durchschnittlich viel höher liegt als im Frühjahr; v. Nießl fand ihn bei 29 untersuchten Herbstboliden in 63 km, bei 22 Frühjahrsmeteoren im Durchschnitt nur in 45 km Höhe über der Erdoberfläche. Die weit größere Geschwindigkeit der ersteren bringt eine stärkere Reibung und ein schnelleres Explodieren hervor. Hiermit im Einklang steht auch die von Newton in Newhaven erwähnte Wahrnehmung, daß im Frühjahr weit mehr detonierende Meteore auftreten: der Schall muß bei einer tieferen Lage des Explosionsortes leichter zu uns gelangen.



Die Bewegung der Erde in einem Sternschnuppenschwarm. Vgl. Text, S. 254.

Zu den stark detonierenden Frühjahrsmeteoren gehört auch das vom 10. Februar 1896 um 9½ Uhr vormittags über **Madrid** erschienene, das unter den Bewohnern dieser Stadt und denen eines großen Teils von Spanien eine förmliche Panik verbreitete. Sein Glanz überstrahlte selbst die hell am Himmel stehende Sonne. Aus dem Umstand, daß die Lichterscheinung etwa 1½ Minuten dem Donner der Explosion vorausging, konnte man die Höhe, in der die letztere stattfand, auf ungefähr 30 km schätzen. Trotz dieser Entfernung war die Lufterschütterung noch so gewaltig, daß Mauern eingestürzt und Fenster zertrümmert wurden. Der Barometerstand schwankte plötzlich um 11,4 mm auf und ab. Die Schallerscheinung konnte in einem Umkreise von 250 km noch wahrgenommen werden. Steine

fielen jedoch nur in sehr geringer Menge nieder. Genaue Untersuchungen konnten wegen der auch hier sich überaus widersprechenden Nachrichten über die Bahn des Meteors nicht angestellt werden. Man vermutet, daß damals vielleicht eine ganze Reihe von Meteoren gleichzeitig in unsere Atmosphäre drangen, wie es in einem anderen Falle, vom 16. Januar 1895, zweifellos nachgewiesen wurde. An diesem Tag erschienen über Böhmen, Mähren und Schlesien im Laufe von 3 Minuten drei verschiedene Meteore, die in keinerlei innerem Zusammenhange miteinander standen.

Unzweideutig treten die gesuchten periodischen Beziehungen bei der zahlreichen Schar der Sternschnuppen hervor. Man macht sich ohne weiteres keine Vorstellung davon, wie ungeheuer groß die Zahl der Erscheinungen ist. Es ist festgestellt, daß ein einzelner Beobachter in dem Teile des Himmels, den er zu übersehen vermag, durchschnittlich zehn Sternschnuppen in der Stunde mit freiem Auge sieht. An einem bestimmten Ort der Erdoberfläche werden danach in den Teil der Atmosphäre, der von dort aus überhaupt, nicht nur von einem Beobachter, zu übersehen ist, 30—40 solcher Sternschnuppen eindringen. Nun hat der Amerikaner Newton gezeigt, daß dieses Gebiet nur den 10,460sten Teil der ganzen Atmosphäre ausmacht. Die ganze Erde begegnet also stündlich nicht weniger als 300,000—400,000 oder täglich bis 10 Millionen Sternschnuppen. Der ganze Weltenraum muß hiernach von diesem Himmelsstaub erfüllt sein, beinahe so, wie unsere Luft mit irdischem Staube. Nimmt man das durchschnittliche Gewicht jeder Sternschnuppe auch nur zu 5 Gramm an, was recht niedrig gegriffen ist, so ergibt sich, daß der Erde jährlich an 20 Millionen Kilogramm Materie aus dem Weltenraume zugeführt wird, ungerechnet die Meteorsteine und den eigentlichen Meteorstaub, der, wenn er nicht einmal massenhaft auftritt, unbemerkt eindringt und wahrscheinlich mindestens ebensoviel zu dieser Gewichtsvermehrung der Erde beiträgt wie die Sternschnuppen. Wir werden mit diesem Faktum zu rechnen haben, wenn wir die Erde in ihrer Wechselwirkung mit anderen Weltkörpern betrachten.

Die stündliche Häufigkeit der Sternschnuppen stellt sich nach 35jährigen Beobachtungen von Schmidt in Athen folgendermaßen:

abends	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4 Uhr morgens
Anzahl	3,8	4,6	5,6	6,8	8,2	9,8	11,5	13,1	14,4	15,0	14,8

Die Zunahme gegen die Morgenstunde hin ist hier unverkennbar. Die von 3 Uhr morgens ab wieder merklich werdende Abnahme erklärt sich aus der anbrechenden Dämmerung, welche immer weniger Sternschnuppen sichtbar werden läßt. Das theoretisch um 6 Uhr früh eintretende Maximum ist deshalb praktisch nicht festzustellen. Wir haben also die Tatsache zu verzeichnen, daß praktisch das Maximum der Sternschnuppenhäufigkeit um 3 Uhr früh sich einzustellen pflegt.

Bestimmt man hieraus die mittlere stündliche Häufigkeit einer jeden Nacht und dann die Monatsmittel, so erhält man die folgende Reihe für die jährliche Periode:

Januar	Februar	März	April	Mai	Juni	Juli	August	September	Oktober	November	Dezember
8,6	5,6	6,5	6,4	6,0	6,1	11,1	20,6	9,8	14,1	13,3	12,2

Die größere Häufigkeit in der zweiten Hälfte des Jahres ist augenfällig. Nimmt man den August aus, in dem ein bekannter, noch näher zu besprechender Schwarm auftritt, der die Statistik für das gewöhnliche Mittel stört, so erhält man für die erste Jahreshälfte als Monatsmittel der stündlichen Häufigkeit 6,5 und für die zweite Hälfte 12,1, also beinahe

doppelt soviel. Der Einfluß der Stellung des Apex zum Beobachtungsort ist durch diese Zahlenreihen sowohl in seiner täglichen wie in seiner jährlichen Änderung bestimmt nachgewiesen und der kosmische Charakter des Phänomens dadurch dargetan.

Die zuletzt gegebene Zahlenreihe der Monatsmittel zeigt aber nicht dieselbe gleichmäßig fortschreitende Gesetzmäßigkeit wie die stündlichen Mittel. Es kommen darin Sprünge vor, namentlich für den August. Diese erklären sich durch die wirkliche ungleichmäßige Verteilung der Sternschnuppen im Raume, die am deutlichsten in den Sternschnuppenschauern hervortritt. Wie wir es nämlich unter der Voraussetzung der kosmischen Natur der Sternschnuppen als theoretisch notwendig gefunden hatten, stellt es sich auch praktisch heraus, daß an bestimmten Tagen eines jeden Jahres ihre Häufigkeit wesentlich zunimmt. Die berühmtesten dieser Schauer sind die nach dem 258 zu Rom verbrannten Märtyrer benannten feurigen Tränen des Laurentius, die am 10. August jedes Jahres erscheinen, und ein Schwarm, der um den 12. November regelmäßig wiederkehrt. Beide Phänomene sind historisch weit zurück zu verfolgen, der Augustschwarm bis 830, der vom November bis 902. Immer trafen sie mit kaum mehr als einem Tage Unsicherheit an derselben Stelle der Erdbahn mit uns zusammen, wenngleich im Laufe der Jahrhunderte das Kalenderdatum für dieses Zusammentreffen sich langsam verschieben mußte.

Der Novemberschwarm war es, der zuerst durch seine überaus glänzende Erscheinung im Jahre 1799, als ihn Humboldt und Bonplant zu Cumana (Venezuela) beobachteten, die Aufmerksamkeit der Gelehrten auf diese bis dahin als bloße atmosphärische Erscheinungen vernachlässigten Meteore lenkte. Damals erschienen am 12. November von etwa 2½ Uhr nachts an plötzlich Tausende von Sternschnuppen, mit Feuerkugeln untermischt, so daß bald der ganze Himmel davon eingenommen war. Sie zogen sämtlich in ähnlicher Richtung. Ihr Auftreten wurde an vielen Orten der Erde bemerkt. Zwar fielen die Novembermeteore in den nächsten Jahren, in denen sie viel weniger häufig waren, noch nicht weiter auf; nur aus den Jahren 1823 und 1832 verzeichnete man reichere Fälle. Aber im folgenden Jahre (1833) entwickelte sich das wundervolle Phänomen zu einer Pracht, wie sie vordem nie gesehen worden war. „Die Feuerkugeln gingen raketenartig von einem einzigen Punkt aus, und zwar in so großer Zahl, daß sie dicht wie Schneeflocken fielen, und der Himmel fast ganz in Feuer zu stehen schien.“ (Littrow-Weiß.) Die hauptsächlichsten Beobachter dieses Schauers waren Olmsted und Palmer in Newhaven (Nordamerika). In Boston zählte man noch um 6 Uhr früh, als das Maximum längst vorüber war, 650 Sternschnuppen in einer Viertelstunde; im ganzen werden für den Horizont von Boston etwa eine Viertelmillion gefallen sein, gegen 100, die das gewöhnliche Mittel für die Sternschnuppenhäufigkeit um diese Zeit ergeben würde. Wir müssen demnach die sporadischen Sternschnuppen von den periodischen streng trennen. Bei der Bildung der oben angeführten Mittelwerte ist dies so gut wie möglich geschehen; ganz ist es jedoch praktisch nicht zu erreichen, wodurch die Unregelmäßigkeiten in den Monatsmitteln entstehen.

Es gibt also im Raume ganze Wolken jenes Weltstaubes, die gelegentlich wie ein ungeheurer Mückenschwarm in unsere Lufthülle eindringen, um dort aufleuchtend zu verpuffen. Bei dieser Masseninvasion von Körpern, die im Raum eine gemeinsame Straße ziehen, müssen offenbar bestimmte Gesetzmäßigkeiten in der Anordnung ihrer scheinbaren Wege eintreten, von denen wir uns zum Teil leicht eine Vorstellung machen können. Nehmen wir an, wir befänden uns auf einer Schienenstraße, auf der rechts und links von uns

viele Gleise in schnurgerader Richtung verlaufen, so scheinen sich die Schienenstränge vor uns infolge der Perspektive mehr und mehr zu verengern, bis sie in der Ferne sich zu einem Punkte vereinigen. Wenn nun zur Nachtzeit aus dieser Ferne auf jedem Gleise Züge auf uns zukommen, so sieht man erst nur den Schein ihrer Laternen in einer schimmernden Linie vereinigt. Wie schnell die Züge sich uns auch nähern mögen, wir bemerken doch diese Bewegung anfangs gar nicht, bis sich die Lichter langsam voneinander trennen, indem sie sich nach rechts und links mehr und mehr ausbreiten. Dieses Auseinanderbreiten nimmt dann an Schnelligkeit rapid zu, bis die Lichter endlich zu beiden Seiten an uns vorübersausen.

Ebenso muß das Phänomen der periodischen Sternschnuppen verlaufen, wenn ihre einzelnen Glieder wirklich parallele Bahnen im Raume beschreiben, die in dem betreffenden Falle direkt auf uns zu gerichtet sind. Dies bestätigt sich völlig. Zeichnet man nämlich die scheinbaren Bahnen der Sternschnuppen eines solchen Schwarmes in eine Sternkarte ein, wie es unsere Abbildung S. 259 zeigt, und verlängert diese Linien nach rückwärts, d. h. in der Richtung, woher die Meteore kamen, so schneiden sich alle diese Linien ungefähr in ein und demselben Punkte, dem sogenannten Radiationspunkt. Derselbe hat für jeden periodischen Schwarm eine unveränderliche Lage unter den festen Sternen. Der Laurentiusschwarm kommt z. B. aus dem Sternbilde des Perseus her, weshalb man ihn auch mit dem Namen der Perseiden bezeichnet; die Novembermeteore haben ihren Radiationspunkt im Löwen, sie heißen darum Leoniden. Brauchte man noch weitere Beweise für die kosmische Natur dieses Phänomens, so würde die unveränderliche Lage des Radiationspunktes unter den festen Sternen sie in der überzeugendsten Weise liefern. Während nämlich alle periodischen Sternschnuppen einer Nacht, oder selbst bei ausgedehnteren Schwärmen in einigen aufeinander folgenden Nächten aus diesem selben Punkt am Himmel kommen, macht er die scheinbare tägliche Bewegung aller Sterne mit; er ist also wie alle außerirdischen Dinge unabhängig von der täglichen Umschwungsbewegung der Erde um ihre Achse.

Wir geben hier die Lage einiger Radiationspunkte der bekanntesten Sternschnuppenschwärme, indem wir uns vorbehalten, die Bedeutung der Ortsbezeichnung am Himmel nach Rektaszension und Deklination in der vierten und fünften Kolumne an einer anderen Stelle zu erläutern.

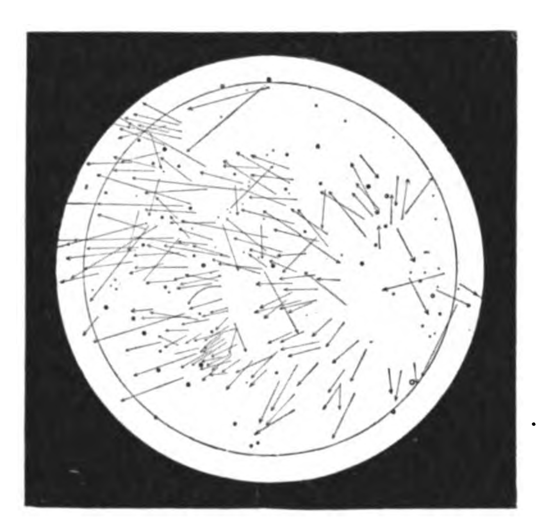
Schwarm	Epoche	Maximum	Radiationspunkt		Entdecker
			Rektaszension	Deklination	
Quadrantiden . .	28. Dez.—4. Jan.	2. Januar	$15{,}3^h$	$52{,}5^\circ$	Heis
Lyriden	16.—22. April	20. April	18,0	32,5	Herrick
Perseiden	11. Juli—22. Aug.	10. August	3,1	56,9	Muschenbroek
Orioniden . . .	9.—29. Oktober	18. Oktober	6,1	15,5	Schmidt
Leoniden	9.—17. November	13. Nov.	10,0	22,9	Humboldt
Andromediden . .	25.—30. November	27. Nov.	1,7	43,8	Brandes
Geminiden . . .	1.—14. Dezember	10. Dez.	7,2	32,6	Greg

Wir sehen aus dieser Tabelle, daß die Schwärme sich nicht immer auf einen oder wenige Tage beschränken, sondern daß z. B. die Perseiden sich schon einen Monat vor dem Tage ihres maximalen Auftretens bemerkbar machen.

Der Radiationspunkt eines Sternschnuppenschwarmes sagt uns nach den vorangeschickten Erörterungen etwas über die Richtung aus, die der Schwarm im Raum vorher verfolgte. Da nun alle körperlichen Dinge im Sonnensysteme, wie wir später beweisen werden, notwendig in einem Kegelschnitt um die Sonne laufen müssen, so ist es für die

Sternschnuppen ebenso wie für die Kometen erlaubt, zum Zweck einer ersten Annäherung für die Ermittelung der kosmischen Bahn dieser Meteore eine Form der Kegelschnitte als von ihnen durchlaufen vorauszusetzen. Man wählt dann zunächst immer die mittlere Form der Parabel. Daß die Entfernung der Sternschnuppen von der Sonne im Augenblick ihrer Erscheinung für uns gleich der der Erde ist, erleichtert des weiteren die Untersuchung wesentlich; wir sind deshalb imstande, allein aus der Kenntnis des Radiationspunktes eines Schwarmes seine Bahn in allen ihren Teilen vor und nach dem Zusammentreffen mit der Erde zu berechnen, wenigstens mit einer Annäherung, die der einer ersten Kometenbahnbestimmung vergleichbar ist. Genauere Resultate können aber wegen der unvermeidlichen Beobachtungsfehler im vorliegenden Falle nicht erlangt werden.

Da hat es sich nun gezeigt, daß die hauptsächlichsten Sternschnuppenwolken in denselben Bahnen einhergehen, die für bekannte periodische Kometen gefunden worden sind. Die Perseiden waren es, die hierfür das erste schlagende Beispiel lieferten. Schiaparelli wies nach, daß dieser Schwarm in der Bahn des Kometen 1862 III einhergeht, der, wenngleich mit bloßem Auge sichtbar, kein besonders auffälliges Objekt war. Seine Bahn schneidet die der Erde in einem Punkte, den unser Planet am 10. August durchläuft. Die Umlaufszeit des Kometen wurde gleich 123 Jahren gefunden. Noch interessanter gestaltete sich die Untersuchung bei den Leoniden, für welche die Übereinstimmung der Bahn mit dem Kometen 1866 I nachgewiesen werden konnte. Dieser Komet bildete eine verwaschene, mit bloßem Auge überhaupt nicht wahrnehmbare Masse, deren Umlaufszeit zu 33,2 Jahren berechnet worden war. Es zeigte sich nun, daß der Sternschnuppenschwarm, für den man von vornherein überhaupt keine Ellipse voraussetzen konnte, auch eine Umlaufszeit von 33 Jahren haben müsse, weil immer nach einer solchen Zwischenzeit die Novembermeteore in besonders glänzender Weise auftraten. Als Humboldt zuerst 1799 auf das Phänomen aufmerksam wurde, erzählte man ihm, daß Ähnliches bereits 1766 in Zentralamerika gesehen worden sei, und wir wissen schon, daß 1832 und 1833 wieder ungewöhnlich viele Sternschnuppen in jenen Novembertagen gefallen sind. Darauf konnte man schon für 1866 eine Wiederholung des himmlischen Feuerwerkes vorherverkünden, das sich denn auch äußerst glänzend entfaltete. Aufzeichnungen, die man in den Annalen der Völker fand, bestätigten diese Periode ebenfalls, so daß man eine Wiederholung des wundervollen Schauspiels für die betreffenden Novembernächte von 1899 und 1900 voraussagen konnte. Freilich fand man zugleich auch durch die Rechnung, daß der Schwarm durch die Anziehungskraft der großen Planeten, namentlich des Jupiter, dem er inzwischen besonders nahegekommen war, derart abgelenkt worden sei, daß die Erscheinung von 1899



Meteorstraßen, beobachtet am 10. August 1894 von A. L. Colton auf der Lick-Sternwarte. Vgl. Text, S. 258.

wahrscheinlich nicht so glänzend wie die früheren verlaufen würde, was sich bestätigte. Der Schwarm ist seitdem immer spärlicher geworden, und es ist leider vorauszusehen, daß wir jenes schönen Himmelsschauspiels für immer beraubt sein werden. Nach der Rechnung von Downing und Johnstone Stoney bleibt die dichteste Stelle des Schwarmes jetzt etwa 2,7 Millionen km von der Erdbahn entfernt.

Wie ist dieser Zusammenhang zwischen Kometen und Sternschnuppen zu denken? Der Augustschwarm kommt alle Jahre mit nicht wesentlich schwankender Intensität wieder, während der zugehörige Komet eine Umlaufszeit von 123 Jahren hat. Auch die Novembermeteore erschienen vor 1899 jedes Jahr, aber mit einer zeitweilig ungemein gesteigerten Dichtigkeit. Wir können die Wahrnehmung nur so deuten, daß in der langgestreckten Ellipse der Kometenbahn, in der sich die Perseiden bewegen, ihre einzelnen Körper sich ziemlich gleichmäßig verteilt haben, daß hier also ein elliptischer Ring von Sternschnuppen sich befindet, der die Erdbahn kreuzt, und den die Erde selbst jedesmal am 10. August zu durcheilen hat. Bei den Leoniden dagegen muß eine sehr starke Anhäufung von Sternschnuppen an einer Stelle der Bahn vorhanden sein, die alle 33 Jahre mit der Erde zusammentraf, während im übrigen in dieser Kometenbahn überall einzelne Sternschnuppenkörper verstreut sind. Übrigens zeigen auch die Perseiden periodische, wenngleich nicht sehr ausgeprägte Häufigkeitsschwankungen, von denen Rud. Wolf (Zürich) auf 13 einzelne Wolken in diesem Ringe glaubte schließen zu können.

Die Sternschnuppen, denen wir alljährlich bei den periodischen Schauern begegnen, können also nicht identisch mit Kometen sein, sondern stehen mit ihnen nur in irgend einem zu erforschenden Zusammenhange. Dagegen wäre es wohl möglich, daß die dichte Wolke, der wir unter anderem auch im November 1866, als der zugehörige Komet gleichfalls erschienen war, begegneten, wirklich ein Teil des Kometen war. Schiaparelli hat nun gezeigt, daß, falls die Kometenkerne wirklich aus solchen Ansammlungen von kleinen Körpern beständen, sie sich notwendig durch die Wirkung der allgemeinen von der Sonne ausgehenden Schwerkraft, die in allen Teilen theoretisch zu kontrollieren ist, allmählich in einen Sternschnuppenring auflösen müssen, der die Eigenschaften etwa des Perseidenringes besitzt. Dieser Auflösungsprozeß bedarf allerdings einer ziemlich langen Zeit. Wir hätten daraus zu schließen, daß der Komet von 1862 III unserem Sonnensysteme schon seit langer Zeit angehört, da sich die Sternschnuppen längs seiner Bahn ziemlich gleichmäßig und deshalb auch nicht allzudicht verbreitet haben. Die stündliche Häufigkeit der Perseiden schwankt zwischen 30 und 150 Sternschnuppenfällen. Aber auch längs der Bahn des Leonidenschwarmes sind, abgesehen von der erwähnten Verdichtung, die einzelnen Körper ziemlich gleichmäßig und zudem sehr viel dichter verteilt als in dem Augustschwarm. Auch hier scheint daher die Auflösungsarbeit bereits weit vorgeschritten zu sein. Die Verdichtung wäre in diesem Falle also als ein wirkliches Stück von dem Kometen anzusehen, das sich in früheren Umläufen von dem Hauptkörper abgelöst hatte, wie wir derartiges an anderen Kometen früher nachgewiesen haben (s. S. 218).

Diese Vermutung von der wirklichen Wesenseinheit wenigstens der wolkenartigen, kernlosen teleskopischen Kometen mit Sternschnuppenschwärmen wurde in unerwarteter und glänzender Weise durch das Auftreten der sogenannten Andromediden bestätigt. Es war am 27. November 1872, als plötzlich ein ungemein reicher Sternschnuppenregen eintrat, der in ganz Europa und weit darüber hinaus die Aufmerksamkeit der gesamten



Bevölkerung auf sich lenkte. Der Verfasser hatte Gelegenheit, das wunderbare Schauspiel auf der Göttinger Sternwarte in der Zeit von 8—11 Uhr abends zu beobachten. Er zählte damals mit einem Freunde in $2^3/_4$ Stunden 7651 Sternschnuppen; es fiel also in jeder Sekunde durchschnittlich eine. Die stündliche Häufigkeit für einen Beobachter ergibt sich daraus zu etwa 1400, gegen 13 Sternschnuppenfälle, die wir für diese Zeit als mittlere Frequenz früher angegeben hatten. Achtzig der hellsten Meteorbahnen wurden in Göttingen in eine Sternkarte eingetragen, aus denen sich, in Übereinstimmung mit den Resultaten anderer Beobachter, die Lage des Radiationspunktes im Sternbilde der Andromeda ergab.

Hieraus berechnete Klinkerfues, der damalige Direktor der Göttinger Sternwarte, die kosmische Bahn der so unerwartet in unsere Atmosphäre eingedrungenen Sternschnuppenwolke, woraus ihre Übereinstimmung mit der des seit 1852 vermißten Kometen von Biela offenbar wurde (s. S. 232). An der Zusammengehörigkeit beider Erscheinungen war hiernach nicht mehr zu zweifeln. Aber Klinkerfues wollte zu ergründen versuchen, ob wirklich ein Teil des Kometen selbst mit der Erde während dieses Ereignisses in Berührung gekommen sei; dies war zu vermuten, da in früheren Jahren am 27. November keine besonders auffällige Sternschnuppenhäufigkeit beobachtet worden war, obgleich an diesem Tage, wie schon Littrow und andere bemerkt hatten, die Erde durch den Schnittpunkt ihrer Bahn mit der des Bielaschen Kometen ging. Man hatte für dieses Datum eines damals noch nicht bestimmt vorherzusagenden Jahres den Zusammenstoß dieses Himmelskörpers mit der Erde vorausgesehen. War er nun 1872 wirklich erfolgt? Das war gewiß eine sehr interessante Frage, die bei dieser Gelegenheit vielleicht entschieden werden konnte. Wenn die Sternschnuppenwolke, aus der Entfernung gesehen, wirklich zu einem Kometen wird, so mußte man sie gleich nach ihrem Zusammentreffen mit der Erde in der entgegengesetzten Richtung von der, aus welcher man sie hatte kommen sehen, auch als Komet wahrnehmen. Diese Richtung mußte offenbar dem Radiationspunkt am Himmel gerade gegenüberliegen, in dem sogenannten Konvergenzpunkt, in dem die Sternschnuppenbahnen alle wieder zusammenlaufen würden, wenn man sie jenseits unserer Atmosphäre weiter verfolgen könnte. Dieser Konvergenzpunkt liegt leider für die Andromediden in einer Himmelsregion, die für unsere Breiten nicht sichtbar ist. Um also die Frage entscheiden zu können, mußte damals Klinkerfues an eine südlicher gelegene Sternwarte telegraphieren. Die entsprechende Depesche ging am 30. November nach Madras ab, aber erst am Abend des 2. Dezember gelang es Pogson, dem Direktor jener Sternwarte, den angegebenen Ort untersuchen zu können, wobei er sofort einen Kometen mit einem 8 Minuten langen Schweife fand. Der Komet konnte bis zum anbrechenden Morgen verfolgt werden und zeigte dabei eine sehr deutliche Bewegung, die der Voraussetzung, daß er mit jenem Sternschnuppenschwarm identisch sei, entsprach. Aber leider wurde das Wetter an den folgenden Tagen schlecht, so daß der Komet nicht wieder gesehen wurde. Da indessen zur Identifizierung einer Bahn mit der eines bekannten Kometen drei Beobachtungen des betreffenden Objektes vorhanden sein müssen, zwischen denen mindestens je ein Tag liegt, so war es nicht möglich, mit mathematischer Sicherheit zu behaupten, der gesehene Komet sei wirklich ein Teil des Bielaschen gewesen; aber es war wenigstens erwiesen, daß der gesehene Sternschnuppenschwarm sich nach seiner Entfernung von uns perspektivisch zu jenem kometenartigen Körper zusammengezogen hatte, denn daß gerade an diesem Konvergenzpunkt in der betreffenden Nacht ein Komet aufgetreten sei, der mit dem Schwarm in gar keiner Beziehung stand, und daß noch dazu dieser

Komet sich ebenso schnell von der Erde entfernte, wie es ein im gedachten Zusammenhange stehender hätte tun müssen; das alles kann man dem blinden Zufalle nicht zumuten.

Einige Astronomen gingen dennoch damals so weit. Die Astronomen pflegen die bloßen Indizienbeweise, die fast in allen anderen Wissenschaften als vollgültig angenommen werden, nicht anzuerkennen und bleiben deshalb, wenn einmal keine andere Möglichkeit da ist, als diesen nicht mathematischen Weg zu betreten, leicht übermäßig skeptisch. Aber auch diese Zweifler wurden eines besseren belehrt durch die glänzende Wiedererscheinung des Schwarmes genau 13 Jahre später, am 27. November 1885. Diesmal wurde sie vorher verkündet. Der Bielasche Komet hat eine Umlaufszeit von 6½ Jahren; befand er sich also am 27. November 1872 in der Nähe der Erde, um jenen Meteorregen zu erzeugen; so war er zwar nach 6½ Jahren wieder an der gleichen Stelle der Erdbahn, aber die Erde selbst befand sich um diese Zeit gerade an der gegenüberliegenden Stelle derselben, 300 Millionen km vom Kometen entfernt. Nach zwei Umläufen des letzteren mußten dagegen beide Körper erneut an der kritischen Stelle zusammenkommen. Der imposante Sternschnuppenregen, der an diesem Abende viele Tausende entzückte, bewies die Richtigkeit der Schlußfolgerung. Die Häufigkeit der Meteore war diesmal noch viel größer als 1872. In Upsala z. B. wurden in jener Novembernacht 40,844 Sternschnuppen gezählt, in einer einzigen Viertelstunde des Maximums 4422 Stück oder 5 in der Sekunde. Ein Beobachter in Griechenland will sogar 40—50 in der Sekunde gezählt haben, und Freiherr von Tucher, der auf seiner Privatsternwarte auf Malta das großartige Phänomen beobachtete, glaubte aus seinen Zählungen schließen zu müssen, daß an dem reinen Himmel seines Beobachtungsortes während der 20 Minuten des Maximums wohl 9000 für seinen ganzen Horizont hätten gezählt werden können. Er sah selbst 39 Feuerkugeln, die den Glanz der Venus übertrafen; ihr Licht war meist weiß, bei einigen jedoch auch gelb und grünlich. Viele ließen helle Lichtschweife hinter sich zurück, und eine derselben krümmte sich wie eine Schlange vor den Augen des erstaunten Beobachters, bis sie endlich wirbelnd in Stücke zerriß.

Alle Zeitungen brachten begeisterte Schilderungen von der Pracht des außerordentlichen Schauspieles. Besonders reizvoll wird der Anblick von einem Beobachter am W o l f g a n g s e e geschildert: „Der avisierte Sternschnuppenfall", so schreibt er, „stellte sich Freitag, den 27. November, zwischen 6 und 8 Uhr abends in seit Menschengedenken hier noch nicht gesehener Intensität ein. Buchstäblich ‚schneite' es die meteorischen Feuergarben, und es zeigte sich das Ganze als ein selten prachtvolles Naturwunder. Das denkbar reinste Firmament, sternenbesäet, vollkommen windstill. Unten der spiegelglatte See, aus welchem der ganze Sternenhimmel widerstrahlte. Das Bild eingerahmt durch die dunkeln, aber mit scharfen Konturen hervortretenden Gebirgskolosse, und innerhalb dieses ganzen herrlichen Raumes sprühte es von Tausenden meteorischer Lichtgarben, welche in Form verknallter Raketen ihren Feuersprühregen oft in großen, schlängelnden Lichtbahnen über den Himmelsraum hinsandten. Die ganze hiesige Bevölkerung kam in Bewegung."

Die Sternschnuppen von 1885 kamen aus demselben Radiationspunkte wie die von 1872; dadurch war mit mathematischer Bestimmtheit nachgewiesen, daß beide Erscheinungen ein und demselben Schwarme angehörten. Ferner mußte die Umlaufszeit dieses Schwarmes entweder 13 Jahre oder doch eine Zahl von Jahren betragen, die mit einer ganzen Zahl multipliziert 13 ergibt. Hiermit ist ein neues Argument für die Bestimmung der wahren Bahn des Schwarmes aus dem Radiationspunkte gegeben, und man war imstande, eine

bestimmte Wahl für die Form des Kegelschnittes zu treffen. Nimmt man nun die Umlaufszeit zu 13 : 2 = 6½ Jahren an, so kann man aus dem beobachteten Radiationspunkt allein, nunmehr ohne die sonst nötige willkürliche Voraussetzung einer parabolischen Form, die Bahn streng berechnen. Der Verfasser erhielt auf diese Weise folgende Zahlen, deren spezielle Bedeutung zwar erst in dem theoretischen Teil unseres Buches erläutert werden kann, deren Übereinstimmung aber mit den in der letzten Rubrik gegebenen entsprechenden Zahlen für die 1852er Erscheinung des Kometen von Biela das Zusammenfallen beider durch diese Zahlen bestimmten Bahnen augenscheinlich machen wird.

	1885	1872	1852
Knoten	245,55	245,55	246,19°
Neigung	12,35	12,40	12,33°
Perihel	111,52	110,7	109,36°
Kürzeste Distanz . .	0,8570	0,8662	0,8608
Exzentrizität . . .	0,7544	0,7518	0,7559
Umlaufszeit . . .	6,52	6,52	6,62 Jahre.

Hält man mit dieser unzweifelhaften Identität die beiden Tatsachen zusammen, daß erstens der Komet von Biela seither nicht wieder gesehen wurde, also von ihm keine andere Spur als eben dieser Sternschnuppenschwarm aufzufinden ist, und daß zweitens in anderen Jahren am 27. November nur ganz vereinzelt Meteore auftreten, die in der gleichen Bahn einhergehen, so daß nur diese eine Verdichtung in dem Ring existiert, dann wird man mindestens den Indizienbeweis für die wirkliche Übereinstimmung des Schwarmes mit einem Teile des seit 1846 in Auflösung begriffenen periodischen Kometen von Biela für schlüssig genug erachten müssen. Diese Auflösung schreitet indes offenbar schnell weiter; wir erkennen dies daran, das Ende November 1892 wieder mehr Sternschnuppen als gewöhnlich aus dem Radiationspunkte des Andromedidenschwarmes gesehen wurden, obgleich ihre Frequenz nicht entfernt der jener denkwürdigen Tage gleichkam. Der Komet war damals, nachdem ein voller Umlauf seit 1885 vollendet war, vor einem halben Jahre durch die kritische Stelle der Erdbahn gegangen. Um diese Zeit hatte sich offenbar der Schwarm bereits so in die Länge gezogen, daß seine letzten Nachzügler noch durch die Erdbahn eilten, als die eigentliche Wolke schon weit darüber hinausgewandert war. Die Erscheinung aber hatte sich in diesem Jahr um 4 Tage verfrüht, was Berberich und Bredichin aus Störungen erklärten, die der Komet inzwischen durch Jupiter erfahren haben mußte. Dies ist auch der Grund, weshalb der Schwarm abermals 13 Jahre nach seiner letzten glänzenden Erscheinung von 1885, also 1898, ebenso wie der Leonidenschwarm nur noch in sehr weit verstreuten Individuen erschien.

Die Prophezeiung Schiaparellis, der in seiner 1866 erschienenen „Theorie der Sternschnuppen" bei Gelegenheit des Beweises für den Zusammenhang der Kometen mit den Sternschnuppenschwärmen von der Teilung des Bielaschen Kometen sprach und dann fortfuhr: „Wenn man ihn wirklich auch in Zukunft nicht wieder erblicken wird, so werden die Astronomen schon dahin gelangen, zu wissen, was aus ihm geworden ist", ging also schneller in Erfüllung, als man es erwarten konnte, denn, wie wir wissen, hatte zwar Littrow schon in den 1830er Jahren das Zusammentreffen des Bielaschen Kometen mit der Erde richtig für einen 27. November vorausverkündet, aber erst für das Jahr 2115. Der Irrtum war durch eine unrichtig angenommene Umlaufszeit entstanden, die sich inzwischen durch unvorhergesehene Störungen wesentlich geändert hatte. So waren wir schon 1872 Augenzeugen

des ehedem so sehr gefürchteten Zusammenstoßes der Erde mit einem Teil eines Kometen. Alles, was wir dabei empfanden, war das Entzücken über eines der herrlichsten und ergreifendsten Schauspiele, die uns der gestirnte Himmel zu bieten vermag.

Von den Kometen, die uns noch bis vor kurzem die rätselhaftesten Geschöpfe des Himmels waren, besitzen wir also Stücke in unseren Naturaliensammlungen, denn wir müssen die Meteorite, wenn sie auch meist aus weit entfernten Räumen des Universums kommen, als ihre Verwandten ansehen. Wir erkennen an diesen Proben von Himmelskörpern, daß sie unserer Erde auf das innigste verwandt sind, wenigstens in bezug auf die elementaren Stoffe, aus denen sie aufgebaut wurden.

Stellen wir unsere Erfahrungen über die Natur der Kometen noch einmal zusammen, um uns ein Gesamtbild von ihnen zu skizzieren, so ergibt sich vor allem, daß die Kometen materielle Körper sind, die, den allgemeinen Anziehungsgesetzen folgend, um die Sonne kreisen. Ihr Kern besteht aus festen Teilen, wahrscheinlich jedoch derart, daß er kein Ganzes bildet, sondern ein Konglomerat von Meteorsteinen und Sternschnuppenkörpern, die von einer Kohlenwasserstoff- und Kohlenoxydgasatmosphäre umgeben sind. Diese bildet vor allem die Hülle, in der sich oft der Kern völlig versteckt, namentlich, wenn der Komet noch in großer Entfernung von der Sonne ist.

Sobald der so zusammengesetzte Kometenkörper sich der Sonne genügend genähert hat, um auf der der letzteren zugewandten Seite kräftige Wärmewirkungen zu empfangen, kommt es zu heftigen Vorgängen auf dieser exponierten Seite, die sich durch mächtige Ausströmungen von Gasen gegen die Sonne hin offenbaren. Zuerst kommt der Kohlenwasserstoff zur Verdampfung, wie dies auch bei den Meteoriten geschieht, die wir daraufhin in unseren Laboratorien untersuchten. Bei noch kräftigerer Strahlung während bedeutender Annäherung an die Sonne verflüchtigt sich das Natrium, endlich sogar, in einem bisher beobachteten Falle des September-Kometen von 1882, das Eisen, das den hauptsächlichen Bestandteil einer großen Anzahl von Meteoriten bildet und deshalb nach unseren Erfahrungen auch in den Kometen nicht fehlen kann. Bei diesen gewaltigen Vorgängen sind Stauungen und Spannungen unvermeidlich: wir sehen die Kometen sich schnell verändern und infolge plötzlicher Befreiung von solchen Spannungen ungewöhnlich schwankende Helligkeiten entwickeln. Es kann auch nicht ausbleiben, daß einzelne Stücke über die sicher nur kleine Anziehungssphäre des Kernes hinausgeschleudert werden. Geschieht dies mit nicht allzu großer Kraft, so werden diese Stücke sich längs der Kometenbahn verstreuen und einen Sternschnuppenring bevölkern helfen, der schon durch die regelmäßige Arbeit der Schwerkraft infolge allmählicher Langziehung der Kernwolke gebildet werden muß. Geschieht diese Ausstoßung aber durch mächtige Explosionen, die bei der schnellen Temperaturänderung der sich der Sonne bedeutend nähernden Kometen unvermeidlich sind, so werden jenen Stücken Geschwindigkeiten erteilt, die von denen eines nur von der Sonnenanziehung beeinflußten Himmelskörpers merklich abweichen. Die losgelösten Körper nehmen also unter Umständen auch hyperbolische Bahnen an, wie wir sie an vielen Meteoren von größeren Dimensionen wahrnahmen; sie mußten dann, in unsere Atmosphäre mit mehr als planetarischer Geschwindigkeit eindringend, für Sendboten aus den fernsten Räumen außerhalb unseres Sonnensystemes angesehen werden. Daß Kräfte dieser Art in den Kometen wirken, beweisen deren Teilungen.

Soweit könnte man die Phänomene der Kometen aus den Tatsachen der Beobachtung als notwendige Folgen ableiten. Schwieriger dagegen gestaltet sich auch für unsere heutigen

Kenntnisse die Erklärung der Schweifbildung. Wir haben erfahren, daß die zuerst der Sonne entgegengeschleuderten Kometengase in einer gewissen Höhe über dem Kern umwenden, indem sie, abweichend von allen übrigen materiellen Gebilden, nun von dem Zentralgestirne kräftig abgestoßen werden. Es entsteht daraus der Schweif, der ein körperloses Etwas zu sein scheint, da er bei Ausdehnungen, die von keinem anderen, unserem System angehörigen Himmelskörper auch nur entfernt erreicht werden, doch keinerlei Wirkungen auszuüben scheint, mit Ausnahme des Lichteindruckes auf unser Auge. Auch völlig durchsichtig ist bekanntlich dieses rätselhafte Anhängsel.

Nehmen wir irdische Erfahrungen zu Hilfe, so können wir die erwähnte Abstoßung nur als durch elektrische Kräfte hervorgebracht denken. In der Tat hat das eigentümliche spektroskopische Verhalten derjenigen Kometen, die in ihrer Sonnennähe plötzlich die Natriumlinie zeigten, das Vorhandensein kräftiger elektrischer Entladungen in den Kometenkernen mindestens sehr wahrscheinlich gemacht. Die mächtigen Ausströmungen, die vor der Schweifbildung aus dem Kern hervorbrechen, müssen ohne Zweifel in der nämlichen Weise, wie man es bei den sogenannten Dampfelektrisiermaschinen wahrnimmt, die beiden Elektrizitäten voneinander scheiden. Jeder Dampfstrahl, der sich an seiner Ausströmungsöffnung reibt, selbst das Wasser jedes Wassersturzes, erzeugt Elektrizität. Ist nun das ausströmende Gas z. B. negativ geladen, während im Kern die positive Elektrizität zurückbleibt, so müßte, um die Abstoßung von der Sonne hinweg zu erklären, der Sonne eine Ausstrahlung von negativer Elektrizität zugeschrieben werden. Eine solche elektrische Fernwirkung der Sonne ist aber bei uns auf der Erde nachzuweisen, worüber wir im Kapitel von der Sonne (s. S. 292 ff.) noch Näheres erfahren werden.

Es ist zuerst von Bessel, dann von Zöllner in seinem Werke über die Natur der Kometen, endlich von Bredichin näher untersucht worden, wie sich die Kometenmaterie unter der Annahme solcher abstoßenden Kraft verhalten müsse, und welche äußeren Merkmale sich dabei an den Kometen zeigen würden. Zöllners grundlegende Arbeit bewies zunächst das unzweifelhafte Vorhandensein einer abstoßenden Kraft; doch mußte sie offenbar für verschiedene Kometen oder selbst verschiedene Stadien desselben Kometen verschieden stark wirken. Bredichin hat die Größe dieser Abstoßung aus der Form der Schweife abzuleiten versucht. Es gelang ihm, sämtliche bekannten Kometenschweife in drei deutlich zu unterscheidende Typen zu ordnen. Alle drei Typen können zugleich oder nacheinander bei demselben Kometen auftreten; beim Donatischen z. B. war der erste und zweite Typus gleichzeitig vorhanden. Dem ersten Typus gehören meist die Kometen mit sehr kleiner Periheldistanz an, wie der von 1843 und 1882, die sich durch lange, fast ganz geradlinige Schweife auszeichnen. Der zweite ist der gewöhnlichste und wird in unseren Abbildungen (Tafel bei S. 218) durch den Kometen 1881 III vertreten; der dritte Typus ist dagegen recht selten. Daß diese Form der Schweife über die in ihnen wirkende bewegende Kraft etwas aussagen muß, ergibt sich schon daraus, daß die Kurve, die ein geschleuderter Stein beschreibt, von der Kraft abhängig ist, mit der er geworfen wurde. Beim ersten Typus werden die Teilchen im Durchschnitt mit einer Geschwindigkeit von 4500 m in der ersten Sekunde abgestoßen, beim zweiten von 875, beim dritten etwa von 300 m. Diese Geschwindigkeit steigert sich dann, indem sich die Wirkung beständig summiert, wie beim freien Fall der Körper, so daß am Schweifende ganz enorme Geschwindigkeiten erreicht werden.

Die Ursache dieser verschiedenen Abstoßung ist in der ungleichen materiellen Zusammen-

setzung der Kometen zu suchen; leichtere Substanzen werden von derselben Kraft natürlich stärker abgestoßen werden als schwerere. Die Schweife des ersten Typus könnten z. B. aus dem sehr leichten Wasserstoff bestehen, der ja sicher in den Kometenkernen in verhältnismäßig großen Mengen vorhanden sein muß. Beim zweiten Typus könnte man Natriumdämpfe als Hauptbestandteil annehmen, beim dritten Eisen. In der Tat verhalten sich die Molekulargewichte dieser Gase etwa umgekehrt wie die oben angegebenen Anfangsgeschwindigkeiten für die drei Typen. Sie sind 2 für Wasserstoffgas, 23 für Natrium und 56 für Eisen. Es ist interessant, daß es einige Kometen gibt, deren Schweifform eine noch größere Anfangsgeschwindigkeit fordert als beim ersten Typus. Diese Kometen müßten demnach einen noch leichteren Stoff als den leichtesten unter den uns bekannten, den Wasserstoff, ausstoßen. Wir werden später sehen, daß die Sonne höchstwahrscheinlich von solch einem Stoffe, dem Koronium, umgeben wird, das sich wegen seiner zu großen Leichtigkeit in der Erdatmosphäre nicht mehr halten kann. Vielleicht bestehen jene Kometenschweife auch aus Koronium.

In neuerer Zeit ist auch das wunderbare Radium zur Erklärung der Schweiferscheinungen herangezogen worden. Im Inneren der Erde und wahrscheinlich überhaupt aller Himmelskörper müssen viel mehr radioaktive Substanzen vorhanden sein, als es nach ihrem Vorkommen an der Oberfläche zu vermuten war, denn es strahlt aus dem Inneren hervor und macht z. B. in Bergwerken die Luft radioaktiv. Befinden sich nun auch in den Kometenkernen solche Stoffe, deren „Emanation" bekanntlich beständig negativ elektrisch geladen ist, so m ü s s e n sie Kometenschweife bilden, die von der gleichfalls wahrscheinlich durch ebensolche Stoffe negativ geladenen Sonne abgestoßen werden. Da bereits für uns völlig unwägbare Mengen davon deutlich leuchten, so erklärt sich dadurch die scheinbare Wesenlosigkeit der leuchtenden Schweife.

Eine sehr interessante und einleuchtende Ansicht über die Weltstellung der Kometen hat in neuerer Zeit Rydberg entwickelt. Er stellt dar, daß die Kometen im Wesen nichts anderes seien als kleine planetarische Körper, die in stark elliptischen Bahnen einhergehen, und daß sie sofort zu wirklichen Planeten würden, sobald sie in planetarische Bahnen gezwungen werden, wie auch umgekehrt etwa einer der kleinen Planeten unseres Systems zu einem wirklichen Kometen würde, wenn ihn ungewöhnliche Störungen in eine sehr langgestreckte Bahn zwängen. Sobald ein solcher Körper nämlich in einer sehr exzentrischen Bahn der Sonne nahekommt, muß, wie wir schon sahen, jene Gasentwickelung stattfinden, die den Anlaß zur Schweifbildung gibt. Kehrt dann später der Körper in seiner Sonnenferne in den kalten Weltraum zurück, so kann er während der sehr langen Zeit wieder Gase absorbieren, die dort in außerordentlicher Verdünnung vorhanden sein müssen: der Komet regeneriert sich wieder. Falls er dagegen in eine wenig elliptische Bahn zurückkehrt, und nur noch geringe Temperaturschwankungen erleidet, bildet sich eine konstante Atmosphäre um ihn, deren Größe und Zusammensetzung seiner Anziehungskraft entspricht. Er ist zu einem kleinen Planeten geworden. Es ist unter solchen Gesichtspunkten nicht unmöglich, daß die Schar der kleinen Planeten zwischen Mars und Jupiter einmal Kometen waren, die von dem letzteren in diese Planetenbahnen gezwungen wurden. Damit wäre also jede prinzipielle Verschiedenheit zwischen den Kometen und unserem eigenen Wohnsitze geschwunden.

Wir können uns wohl beglückwünschen, daß heute jene umherirrenden Himmelsgeschöpfe, die noch vor einem Jahrhundert fast in allen ihren Erscheinungen völlige Rätsel



ZODIAKALLICHT AM ABENDHIMMEL.

Nach *E. L. Trouvelot.*

waren und selbst bis vor kurzem die Menschen in fast beständiger Angst erhielten, unserer Kenntnis näher gerückt sind als alle anderen außerirdischen Dinge. Wir besitzen Stücke von ihnen in unseren Händen, wir kennen ihre Zusammensetzung sicherer, als es das Zeugnis des Lichtstrahles uns von den anderen Himmelskörpern verraten hat, wir wissen, daß auch diese lose gefügten, zerbröckelnden, sich auflösenden Wesen, die aus unbekannten Tiefen zu uns niederschweben, den unerschütterlichen Gesetzen unterworfen sind, welche die schöne Ordnung unserer Planetenwelt aufrecht erhält, und daß, wenn eines derselben wirklich in den Lauf der Erde trifft, wir anstatt der Schrecknisse des Weltunterganges das überwältigend schöne Schauspiel eines feurigen Regens genießen. Aufflammend vereint sich dann wieder tote Materie, die in dem dunkeln Weltenraume scheinbar ziellos umherirrte, mit einer bewohnten Welt und kann an den großen Aufgaben mitwirken, die im Kreislauf des ewigen Geschehens für uns in der denkenden Erfassung dieser erhabenen Ordnung aller Dinge gipfeln.

---

12. Das Tierkreislicht.

Unter den Tropen fast allnächtlich, bei uns jedoch nur unter selten günstigen Gelegenheiten und nur für ein aufmerksames, geübtes Auge, zeigt sich, vom Horizont in Pyramidenform aufsteigend, ein matter Schein auf dem tiefdunkeln Himmelsgrunde, dessen ganzes Wesen von allen anderen Phänomenen des gestirnten Firmamentes dem eines riesenhaften Kometen am meisten vergleichbar ist. Ebenso scheinbar wesenlos und durchsichtig überzieht es die Sternbilder des Tierkreises (Zodiakus), wo es sich ausschließlich zeigt, und woher es seinen Namen Tierkreislicht oder Zodiakallicht erhielt.

Auf der beigehefteten Tafel ist der Teil der ganzen Erscheinung dargestellt, der am auffälligsten und deshalb bei uns am häufigsten zu sehen ist. Je nach der Lage des Tierkreises zum Beobachtungshorizonte, die mit den Jahreszeiten wechselt, neigt sich die Längsachse des Pyramidenlichtes gegen den Horizont. Nur unter den Tropen kann es deshalb fast ganz gerade aufragen; für uns kommt der Tierkreis nur im Frühjahr und Herbst hoch genug hinauf, um den feinen Lichtreiz dieses Scheines noch für uns wahrnehmbar zu machen. Im Frühjahr ist dies abends, im Herbst morgens der Fall. Da indes im März bereits die in den Abend vorschreitende Dämmerung die Beobachtung zu stören beginnt, ist für die Abendbeobachtung des Zodiakallichtes der Februar meist der günstigste Monat.

Begibt man sich dann auf ein freies Feld, wo weder die Dunstschleier einer nahen Stadt, noch der Schimmer eines fremden Lichtes unser Auge beeinträchtigt, so erblickt man unter den besten atmosphärischen Verhältnissen bei Abwesenheit des Mondes den zu dieser Zeit nach links geneigten Schein fast immer. Er ist am hellsten gegen den Horizont hin, wenngleich dies wegen der hier lagernden Dünste nicht immer deutlich hervortritt. Diese hellste und breiteste Seite der Pyramide ruht auf der Gegend, wo die Sonne untergegangen war. Nur ganz verwaschen begrenzt, erstreckt sich das Licht, beständig an Breitenausdehnung und an Helligkeit abnehmend, durch die Sternbilder der Fische, des Walfisches und Widders, bis sich die Spitze etwa in der Gegend der Plejaden und der Hyaden, jener allbekannten und für den Winterhimmel charakteristischen Sterngruppen, verliert. Niemals verläßt das Licht den Gürtel des Tierkreises, und stets ist die Längsachse der Pyramide auf die unter dem Horizont befindliche Sonne gerichtet. In dieser Form kennt man die

Erscheinung bereits zwei Jahrhunderte; wahrscheinlich sogar verehrten die Ägypter dieses Licht schon in ihren frühesten Geschichtsperioden in Verbindung mit ihrem Sonnengotte.

Gelegentlich aber bemerkt man, daß die Pyramide oben keinen eigentlichen Abschluß hat, sondern sich durch eine Lichtbrücke längs des Tierkreises fortsetzt, sogar bis zum gegenüberliegenden Horizont. Zuerst bemerkte dies mit Sicherheit Humboldt im März 1803 im tropischen Gürtel des Atlantischen Meeres. Er sah, daß der Schein auf der Ostseite dieselbe pyramidale Form annahm, wie man ihn auf der anderen Seite kannte, nur war er schwächer. Vervollständigt wurden endlich unsere Beobachtungserfahrungen über dieses geheimnisvolle Licht durch die Entdeckung des sogenannten Gegenscheines, den Brorsen zuerst 1854 sah. Es zeigt sich nämlich, daß die den ganzen Himmel umspannende Lichtbrücke hinter der Pyramidenspitze zwar zunächst ein Minimum von Intensität hat, dann aber wieder an Helligkeit zunimmt, bis zu der Gegend, die dem scheinbaren Ort der Sonne an jenem Tage diametral gegenüberliegt. Hier tritt der Gegenschein ein, der allerdings schwer zu beobachten ist, da für ihn zu den für die Sichtbarkeit des Zodiakallichtes geltenden Bedingungen noch die weitere kommt, daß er nicht in die Nähe der Milchstraße fallen darf, die ihn überstrahlt.

Eine ungefähre Bestimmung der Breitenausdehnung des Tierkreislichtes, also senkrecht zu der Längsachse der Pyramide, vom Sonnenmittelpunkt gemessen, gelang Newcomb während seines Aufenthaltes auf dem Brienzer Rothorn im Juli 1905, indem er um Mitternacht eine Erhellung des Nordhorizontes bis zu einer Höhe über der darunter befindlichen Sonne wahrnahm, der auf eine Breite des Scheines von mindestens 35 Grad über dem Sonnenmittelpunkte schließen ließ.

Aus den Beobachtungen von Schmidt, Dechevrens, Heis, Weber, Jones und anderen glaubte Sherman in Baltimore ein periodisches Schwanken seiner Ausdehnung, von der Sonne hinweg bis zu der Pyramidenspitze gemessen, feststellen zu können und brachte diese Schwankungen mit der Sonnentätigkeit in einen hypothetischen Zusammenhang. Er glaubt nämlich aus den sehr unsicheren Schätzungen dieser „Elongationen" des Tierkreislichtes den Schluß ziehen zu dürfen, daß die unbekannte Ursache des Lichtes sich am weitesten ausdehne, wenn auf der Sonne die wenigsten Flecke beobachtet werden.

Das Teleskop konnte wegen der Lichtschwäche und diffusen Ausbreitung der Erscheinung keinen Beitrag zu seiner Kenntnis liefern, wohl aber das Spektroskop, welches das Licht als Sonnenlicht charakterisiert, das von festen Körpern reflektiert wird. Auch das Polariskop, ein Instrument, das reflektiertes von direktem Lichte zu unterscheiden gestattet, schließt sich dem Zeugnis des Prismas an. Das Tierkreislicht hat ein reines kontinuierliches Spektrum ohne helle oder dunkle Linien; die letzteren bleiben aber offenbar nur wegen seiner Lichtschwäche aus. Man hat zwar lange geglaubt, daß das Spektrum des Zodiakallichtes eine gewisse helle grüne Linie enthielte, die für das Nordlicht charakteristisch ist, und derzufolge man auch dem Zodiakallicht ein Selbstleuchten zuschreiben müßte, indessen hat sich später, namentlich durch die Untersuchungen von Wright, herausgestellt, daß diese grüne Linie, wenn sie im Zodiakallicht auftritt, auch zugleich am ganzen übrigen Himmel zu beobachten war. Es gibt hiernach sehr schwache Nordlichter, die nur im Spektroskop wahrzunehmen sind. Mit dem Tierkreislicht im besonderen aber hat diese Linie nichts zu tun.

Merkwürdigerweise hatte man bis vor kurzem trotz der Einfachheit und der Dauer der Erscheinung bisher keine stichhaltige Hypothese über die Natur des Tierkreislichtes finden

können. Jones erklärte es für einen Ring kleiner Körper, also etwa von Sternschnuppen, der die Erde umgebe, analog dem Saturnringe nach unseren heutigen Ansichten über diesen.

In neuerer Zeit wurde indes von Seeliger gezeigt, daß das Tierkreislicht nicht der Widerschein nur von reflektierenden Körpern in der Nähe der Erde sein könne, sondern, daß man es sich als einen sehr flachen linsenförmigen Raum zu denken habe, dessen Mittelpunkt die Sonne sei, der aber nach dem Rande zu immer schwächer mit „Weltstaub" angefüllt, noch etwas über die Erdbahn hinausreicht. Bei der Beurteilung der unter dieser Annahme entstehenden Lichtverteilung ist namentlich die Phasenwirkung der einzelnen Körperchen zu berücksichtigen. Gerade der Sonne gegenüber, also im Punkte des Gegenscheines, wenden die angenommenen Körperchen uns ihre vollbeleuchtete Scheibe zu. Hier müßte also ein Maximum der Lichtstärke stattfinden, wenn unsere Gesichtslinie hier nicht senkrecht auf der großen Linse stünde und deshalb nur der geringsten Menge von Körperchen überhaupt begegnete. Diese Zahl nimmt bis zu etwa 90° Winkelentfernung von der Sonne beständig zu, während die Beleuchtungsphase der Körper abnimmt. So erklärt sich der Gegenschein als ein sekundäres Maximum.

Daß der Weltraum überall von Myriaden kleinster Körper, den Sternschnuppen, angefüllt ist, haben wir schon vorhin gesehen. Sie repräsentieren in dem großen Linsenkörper des Zodiakallichtes eine Masse, deren anziehende Wirkung sich unter Umständen an den Bewegungen der sonnennäheren Planeten nachweisen lassen konnte. Nun werden wir im zweiten Hauptteil dieses Werkes noch näher erfahren, daß die allergenauesten Untersuchungen namentlich in den Bewegungen des Merkur systematische Abweichungen von dem sonst so streng innegehaltenen Gravitationsgesetz zeigen, die sich bisher jeder Erklärung widersetzten. Seeliger hat nun, zuerst in einem Vortrag auf der von ihm präsidierten Versammlung der Astronomischen Gesellschaft zu Jena im September 1906, dargetan, daß diese Schwierigkeiten sich unter der Annahme eines wie oben definierten Tierkreiskörpers beseitigen lassen, wenn man diesem etwa eine Masse von einem Zehntel der der Erde zuschreiben würde. Danach würde jedes Kubikkilometer dieses die Sonne umgebenden Linsenkörpers nur so viel wiegen wie ein Würfel aus Wasser von $^1/_3$ m Seitenlänge. Es ist kaum zweifelhaft, daß durch diese Untersuchungen Seeligers das Wesen des bis dahin immer noch so geheimnisvollen Tierkreislichtes enthüllt ist.

Übrigens mußte man, um den Anforderungen der Theorie zu genügen, wie auch schon direkte Beobachtungen, namentlich von M. Wolf, angedeutet hatten, die Richtung der Hauptachse des Linsenkörpers ein wenig gegen die Ebene der Erdbahn geneigt annehmen und etwa mit der des Sonnenäquators zusammenfallen lassen.

Wir werden später sehen, wie sich das Sonnensystem aus einem ungefähr linsenförmigen Körper gebildet haben muß. Der Weltstaub des Tierkreislichtes würde demnach ein letzter Rest der Urmaterie sein, aus der sich unser System zusammengeballt hat. Wir kommen hierauf noch zurück.

---

13. Die Sonne.

Der Menschheit mußte schon in ihren ersten Anfängen bewußt werden, daß die **Sonne** der bei weitem wichtigste aller Himmelskörper für uns ist. Deshalb mag es befremden, daß wir unsere Betrachtungen über die Gestirne nicht mit dem Zentralkörper

unseres Systems begonnen haben, sondern ihn an das Ende der von ihm beherrschten langen Reihe himmlischer Welten setzen. Im Laufe unseres weiteren Eindringens in das Wesen der Sonne werden wir indes erkennen, daß wir es in ihr mit einer ganz neuen Art von Himmelskörpern zu tun haben, die nur sehr wenige Eigenschaften mit den sie umkreisenden Gestirnen gemein hat und uns viel fremder ist als wenigstens die Planeten, die teilweise durch viele Züge mit der Erde verwandt und für uns deshalb verständlicher sind als der strahlende Riesenball, der in unnahbarer Majestät einsam am Tageshimmel thront. Wollten wir also unseren Weg zur Erkenntnis der Himmelskörper von den Festen unserer wohlbekannten Erde aus beginnen, so war die hier befolgte Richtung gegeben; um so mehr als die nahen Verwandten der Sonne, wie wir sehen werden, in der fernen Fixsternwelt zu finden sind, deren Darstellung sich nun ganz naturgemäß an die der Sonne reiht.

Aber selbst wenn wir ohne alle Kenntnis von der Ordnung der Gestirne im Weltraum ihre Reihung nach ihrer Auffälligkeit vornehmen würden, scheint es uns doch, so paradox dies auch auf den ersten Blick sein mag, daß man der Sonne nicht die erste Stelle einräumen dürfe. Denn die Sonne konnte man nicht so unmittelbar beobachten wie die übrigen Gestirne, und es bedurfte einer ziemlich verwickelten Reihe von Schlüssen, bis der naive Naturmensch die ihn allseitig umgebenden Wirkungen der Sonne auf jenes Gestirn bezog, das er nur bei günstigen Wetterverhältnissen, und dann auch nur während des Auf- und Unterganges einige Minuten lang von Angesicht zu Angesicht betrachten konnte. Noch heute bezeichnet unser Sprachgebrauch häufig die Wirkungen der Sonne mit dem Namen des Gestirnes selbst, z. B.: Geh mir aus der Sonne. Das Kind benutzt solche Sprachwendungen, lange bevor es von der Existenz der Sonne als einer Erscheinung am Himmel eine Ahnung hat, während es längst den Mond und die Sterne als solche kennen wird.

Dies zeigt, wie eng wir in unseren alltäglichsten Empfindungen mit den Wirkungen dieses mächtigen Gestirns verwachsen sind, von dem ja seit Anbeginn alle Regungen des irdischen Lebens, in letzter Linie sogar alle Bewegungen der toten Natur auf der Erde und den Planeten abhängig sind. Hierdurch unterscheidet sich die Sonne, mit der einzigen Ausnahme des nahen, Ebbe und Flut bewirkenden Mondes, von allen Gestirnen, die außer der Lichtwirkung keinerlei physische Eingriffe in unsere irdische Welt zu tun vermögen. Sicherlich würde unser Wohl und Wehe durch den Verlust aller übrigen Gestirne nur unmerklich beeinflußt, während das Verlöschen der Sonne den sicheren Untergang alles Irdischen zur Folge hätte. Die Sonne gehört so unzertrennlich zu unserer Natur, wie das Blut zu unserem Körper. Deshalb eben betrachten wir ihre Wirkungen als so innerlich allem irdischen Wesen anhaftend, daß wir erst durch eine beträchtliche Anzahl von verhältnismäßig schwierigen Überlegungen gezwungen werden müssen, diese Wirkungen einem weit entfernten Himmelskörper zuzuschreiben, für den die Erde nichts weiter ist, als für uns alle anderen die Sonne umkreisenden Planeten, die als winzige Lichtscheibchen unseren Himmel durchwandern.

Der Sonnendurchmesser beträgt rund 1,390,000 km. Die Sonne ist also immer noch etwa zehnmal größer als ihr größter Untertan Jupiter. Es folgt daraus weiter, daß die Oberfläche der Sonne etwa 12,000mal größer ist als die der Erde. Würde unsere ganze Erdenwelt, ihre gesamte Land- und Meeresoberfläche, auf die Sonne versetzt, so würde sie auf ihr im Verhältnis nur so viel Raum einnehmen wie auf der Erde das Königreich Dänemark. Auf unserer das Planetensystem darstellenden Tafel im 2. Hauptteil des Buches



sind die relativen Größen der Planeten und der Sonne aufgezeichnet. Noch riesenhafter wird uns der ungeheure Ball erscheinen, wenn wir berechnen, daß mehr als 1,300,000 Kugeln von der Größe unserer Erde in seinem Inneren Platz hätten. Aus der scheinbaren Größe der Erde in Sonnenentfernung (17,6″; die Hälfte ihres Wertes, 8,80″, nennt man die Sonnenparallaxe) folgt unmittelbar die Entfernung der Sonne in Teilen des Erddurchmessers; sie beträgt rund 149½ Millionen km. Da der scheinbare Durchmesser der Sonne nur geringen Schwankungen ausgesetzt ist, viel geringeren jedenfalls, als wir sie bei den Planeten (mit Ausnahme des fernen Neptun) bemerkten, so bleiben wir von ihr immer ziemlich gleichweit entfernt. Am größten erscheint uns die Sonne jedesmal um die Jahreswende, am kleinsten ein halbes Jahr später. Der Unterschied beträgt etwa 64″ oder den 30. Teil des ganzen Durchmessers. Wir befinden uns im Winter unserer nördlichen Halbkugel also der Sonne um denselben Teil der ganzen Entfernung oder 5 Millionen km näher als im Sommer. Diese runden Zahlen mögen genügen, um einen Maßstab für das Bild der Sonnentätigkeit zu liefern, das unsere folgenden Betrachtungen entwickeln sollen.

Wir beginnen am besten bei den allgemeinen strahlenden Wirkungen des Zentralgestirns, die uns tagtäglich sichtbar und fühlbar zuströmen, dem Sonnenlicht und der Sonnenwärme. Streng genommen sind, wie schon erwähnt, alle Bewegungen der Natur um uns herum oder doch zweifellos alle lebendigen Regungen auf die Sonneneinflüsse zurückzuführen, also kosmischen Ursprungs. Der Sonne verdanken wir den Wechsel von Tag und Nacht, von Sommer und Winter; ihre Wärmestrahlung treibt beständig die ungeheure Maschine unserer Atmosphäre an, die das Wasser im ewigen Kreislauf durch die Adern der lebendigen Erde strömen läßt. Die Sonnenwärme lockt den zarten Keim aus der feuchten Erde und entfaltet seine grünenden Blätter. Und dann beginnt das Sonnenlicht die noch gänzlich geheimnisvolle Arbeit, mit der das Blattgrün unter seinem Einfluß die eingeatmete Kohlensäure wieder in Kohle und Sauerstoff zerlegt. Hierdurch wird allein die Wechselwirkung zwischen Tier und Pflanze ermöglicht, die den beiden großen Zweigen der irdischen Naturentfaltung das Leben erhält. Ohne diese chemische Kraft des Sonnenlichtes, das hierdurch in viel fundamentalerer Weise der Träger alles Lebens wird, als der oberflächliche Blick vermutet, würde unsere Atmosphäre nach und nach durch die von den Tieren ausgeatmete Kohlensäure erstickend wirken, und anderenteils würden die Pflanzen nicht imstande sein, uns die aus den Verbindungen mit der freigemachten Kohle von ihr hergestellten Nahrungsmittel zu liefern, auf welche das Tierreich unbedingt angewiesen ist, da es nicht wie die Pflanze mineralische Stoffe zu assimilieren vermag. So liegt in diesem noch ganz unaufgeklärten Prozesse, der im grünen Blatte vor sich geht, sobald das Sonnenlicht es bescheint, der Schlüssel alles Lebens auf Erden. Wie ungeheuer groß diese Arbeit des Sonnenlichtes ist, erhellt aus der Angabe, daß die Menschheit allein im Jahr etwa 5 Billionen kg Kohlensäure ausatmet, die in 600 Jahren den Kohlensäuregehalt der Atmosphäre verdoppelt haben und uns das Atmen fast unmöglich machen würde, wenn nicht die Pflanzen die Luft immer wieder mit Hilfe der Sonnenstrahlen reinigten, d. h. sauerstoffreicher machten.

Können auch unsere künstlichen Lichtquellen bis zu einem gewissen Grad diese lebenunterhaltenden Wirkungen der Sonne ersetzen, so sind sie doch mit einer einzigen Ausnahme wenigstens indirekt durch die Sonnentätigkeit vorher erzeugt worden. Unsere Steinkohlen sind bekanntlich vegetabilischen Ursprungs; das Sonnenlicht verschollener Zeitalter



der Erdgeschichte arbeitet heute in unseren Dampfmaschinen und flammt wieder auf in unseren elektrischen Lampen. Nur wenn wir die Elektrizität durch den Kontakt zweier Metalle erzeugen, können wir den Ursprung der daraus entspringenden Kraft nicht über die Grenzen unseres Erdplaneten hinaus verfolgen. Auch in den wenigen Fällen, in denen wir die Gewalt der heranrollenden Flutwellen verwenden, arbeitet die Sonne, zum größten Teile allerdings der Mond, mit am Werke des Menschengeschlechts. Könnte man auch aus dem glühenden Inneren der Erde ungeheure Energiemengen schöpfen, so bedarf man doch noch nicht dieser so naheliegenden Quellen, solange jene weltferne übergewaltige Kraftquelle uns verschwenderisch mit ihren Gaben überschüttet.

Aber alle diese Wirkungen der Sonnenenergie gehen den Astronomen direkt nichts an. Dieser mißt sie nur, um daraus Schlüsse über die Natur des gewaltigen Weltkörpers zu ziehen, der den materiellen und schöpferischen Mittelpunkt unseres Weltsystems einnimmt. Untersuchen wir von diesem Standpunkte aus zunächst das Sonnenlicht auf seine Stärke hin, so ergeben photometrische Messungen, daß ein von der Sonne bei möglichst heiterem Himmel beschienenes weißes Stück Papier erst von einer irdischen Lichtquelle gleichhell beleuchtet werden könnte, die 288,000 Normalkerzen in sich vereinigt und in 1 m Entfernung von dem Papier aufgestellt wäre. Eine Bogenlampe von 10,000 Kerzen-Stärke gehört schon zu den kräftigsten, die gebaut werden; aber sie vermag ein Stück Papier doch nur in etwa 2 Dezimeter Entfernung gleichhell wie das Sonnenlicht zu beleuchten. Das Licht des Vollmondes ist 570,000mal schwächer als das Sonnenlicht. Nach Ceruski in Moskau ist das Licht des Sirius, des hellsten Fixsterns, 17,000millionenmal schwächer als das der Sonne. Nach Langley und anderen ist nun aber die bis auf den Grund unseres Luftmeeres gelangende Intensität des Sonnenlichtes kaum die Hälfte des wirklich ausgestrahlten; die andere Hälfte geht für uns völlig verloren.

Ebenso unvorstellbar groß sind die Wärmemengen, welche die Sonne ausstrahlt. Nach Scheiner strömt sie an der Grenze unserer Atmosphäre der Fläche eines Quadratmeters in jeder Minute 4—6 sogenannte Wärmeeinheiten zu. Eine solche bezeichnet die Wärmemenge, die erforderlich ist, um ein Gramm Wasser von 15 auf 16 Zentigrad Temperatur zu bringen. Man nennt jene Sonnenstrahlung die Solarkonstante. Diese läßt, da auch die Wärme im Quadrat der Entfernung abnimmt, auf die wirklichen Wärmemengen schließen, welche die Sonne beständig rings um sich herum in den Weltraum ausstrahlt. Man kommt damit auf eine 33stellige Zahl, die mit 58 beginnt. Von dieser Fülle erhält die Erde nur etwa den 2000millionsten Teil; das sind aber immer noch 96,000 Billionen Kalorien. Nach den Prinzipien der Wärmelehre ist nun eine solche Kalorie, in Arbeit umgesetzt, imstande, das Gewicht von einem Gramm 428 m hoch zu heben. Daraus ergibt sich, daß die der Erde allein zukommende Sonnenkraft in jeder Sekunde 32,600 Millionen Tonnen zu je 1000 kg um einen Kilometer heben könnte. Angesichts dieser Zahlen müssen wir mit der Überzeugung von übergewaltigen Vorgängen im Inneren dieses Zentralherdes an sein näheres Studium gehen, das namentlich auch die Frage zu entscheiden haben wird, wie die riesigen Kraftmengen, welche die Sonne in jedem Augenblick verliert, wieder ersetzt werden können. Offenbar hängt von der Entscheidung dieser Frage die Zukunft des gesamten irdischen Daseins ab.

Es darf nicht unerwähnt bleiben, daß der genaueren Bestimmung der oben angeführten Solarkonstante der wechselnde Feuchtigkeitsgehalt unserer Atmosphäre viel Schwierigkeiten

bereitet. Die letztere ist in hohem Maße fähig, Wärme zu absorbieren, ehe diese auf der Erdoberfläche gemessen werden kann; anderseits läßt sich die Feuchtigkeitsmenge aller Luftschichten über uns auf keine Weise genau bestimmen. Wir müssen uns also immer auf Schätzungen beschränken. Dieser wechselnde Feuchtigkeitsgehalt verdeckt auch gänzlich den notwendigen Einfluß unserer wechselnden Entfernung von der Sonne. Die Strahlung müßte offenbar für unsere Halbkugel im Winter kräftiger sein als im Sommer, während für die andere Hemisphäre das Umgekehrte gelten würde, weil deren Sommer mit der Sonnennähe zusammenfällt. Selbstverständlich ist die Strahlung durchaus unabhängig von der herrschenden Lufttemperatur, die sich nur infolge unserer wechselnden Winkelstellung zur Sonne in den Jahreszeiten ändert. Sehr sorgfältige, 10 Jahre lang fortgesetzte Messungen haben Crova zu folgenden Werten für die Sonnenstrahlung in unseren Jahreszeiten geführt:

Winter: 1,03 Frühjahr: 1,13 Sommer: 1,09 Herbst: 1,04.

Die Einheit ist hier zwar eine andere als die vorhin angewandte; aber es handelt sich ja nur um relative Werte. Wir erkennen aus ihnen, daß im Frühjahr, offenbar wegen des stark abnehmenden Feuchtigkeitsgehaltes der Atmosphäre, die Strahlung wächst, während wir uns von der Sonne entfernen; gegen den Sommer hin zeigt sich die normale Abnahme, die sich noch bis in den März hinein erstreckt.

Wollen wir uns einen mehr an irdische Verhältnisse anknüpfenden Begriff von der Kraftleistung der Sonne machen, so werden einige Zahlen über die Arbeit unserer Atmosphäre, die sie infolge der beständigen Wärmezufuhr seitens der Sonne auszuführen vermag, gute Anhaltspunkte bieten. Die meteorologischen Erfahrungen zeigen, daß jährlich etwa 660 Billionen cbm Wasser in den Äquatorialregionen der Erde in Dampf verwandelt und nach den Polen transportiert werden, ungerechnet diejenigen Wassermassen, die zwar am Äquator außerdem aufgelöst, aber später dort wieder niedergeschlagen, also nicht weiter befördert werden. Würde man jene nach den Polen alljährlich transportierte Wassermasse über ein Areal von der Größe Europas ausbreiten, so würde das so gedachte Meer 66 m Tiefe haben. Und eine solche ungeheure Arbeit vollbringt die Sonne so spielend leicht, daß wir nur in den seltensten Fällen etwas davon bemerken, etwa wenn ein Sturmwind an unseren Häusern rüttelt oder das Donnerrollen des Gewitters uns aufschreckt.

Diese Arbeit wird allein auf der Erde geleistet, die, wie oben schon angeführt, nur etwa den 2000millionsten Teil der ganzen Sonnenkraft erhält. Nur zehnmal mehr, also den 200millionsten Teil, bekommen alle Planeten zusammen zugesandt. Alles übrige, d. h. alle Sonnenkraft bis auf einen verschwindend kleinen Teil, geht ohne eine von uns zu erkennende Wirkung in den leeren Weltraum hinaus. Außerhalb des Sonnensystems kann, wie wir später sehen werden, das Sonnenlicht höchstens in solchen Entfernungen bewohnbaren Welten begegnen, in denen die Sonne nicht größer und heller erscheint als uns einer der größeren Fixsterne, die unser Firmament schmücken.

An die einzelnen Planeten verteilt die Sonne ihre Gaben im Verhältnis der scheinbaren Flächen, die die Planeten am Himmel der Sonne einnehmen, denn diese Flächen sind es ja, die sich den Sonnenstrahlen in den Weg stellen. Nehmen wir die entsprechende Fläche für die Erde zur Einheit, so ergeben sich für die Sonnenbestrahlung der übrigen Planeten folgende Zahlen: Merkur 0,94; Venus 1,87; Mars 0,12; Jupiter 4,51; Saturn 1,01; Uranus 0,05; Neptun 0,02. Wir sehen daraus, daß die Erde mit Merkur und Saturn etwa gleichgestellt ist, was die Gesamtleistung der Sonnenstrahlung auf ihren Oberflächen betrifft,

und daß nur zwei Planeten erheblich mehr Wohltaten von ihr erhalten: Venus beinahe doppelt, Jupiter viereinhalbmal soviel.

Alle bisher angeführten, auf die Sonnenstrahlung bezüglichen Zahlenangaben beruhen auf Messungen, die mit den an betreffender Stelle (S. 273) bereits gekennzeichneten Einschränkungen mit einem ziemlich hohen Grade von Genauigkeit ausgeführt werden können. Ganz anders gestalten sich jedoch die Verhältnisse, wenn man versucht, aus den ermittelten Strahlungswerten Schlüsse auf die wirkliche Temperatur des Sonnenkörpers zu ziehen. Diese Frage ist offenbar für die Zukunft der Sonne und damit für die Zukunft alles Lebens in ihrem Reiche von fundamentaler Wichtigkeit, denn es wird von dem in der Sonne enthaltenen Wärmevorrat, wenn auch nicht ausschließlich, abhängen, wie lange sie solche noch abgeben kann. Nun steht aber leider die von einem Körper ausgestrahlte Wärmemenge in keinem einfachen Verhältnis zu seiner eigentlichen Temperatur. Jedermann weiß, daß, wenn ein Stück Holz und ein Stück Eisen bis zu einer bestimmten gleichen Temperatur erwärmt werden und beide sich unter gleichen Verhältnissen wieder abkühlen, d. h. ihre Wärme ausstrahlen, das Holzstück seine Wärme viel länger als das Eisen festhält. Allerdings hat es auch entsprechend längerer Zeit bedurft, um das Holz auf die gleiche Temperatur wie das Eisen zu bringen. Holz absorbiert also und emittiert Wärme langsamer als Eisen.

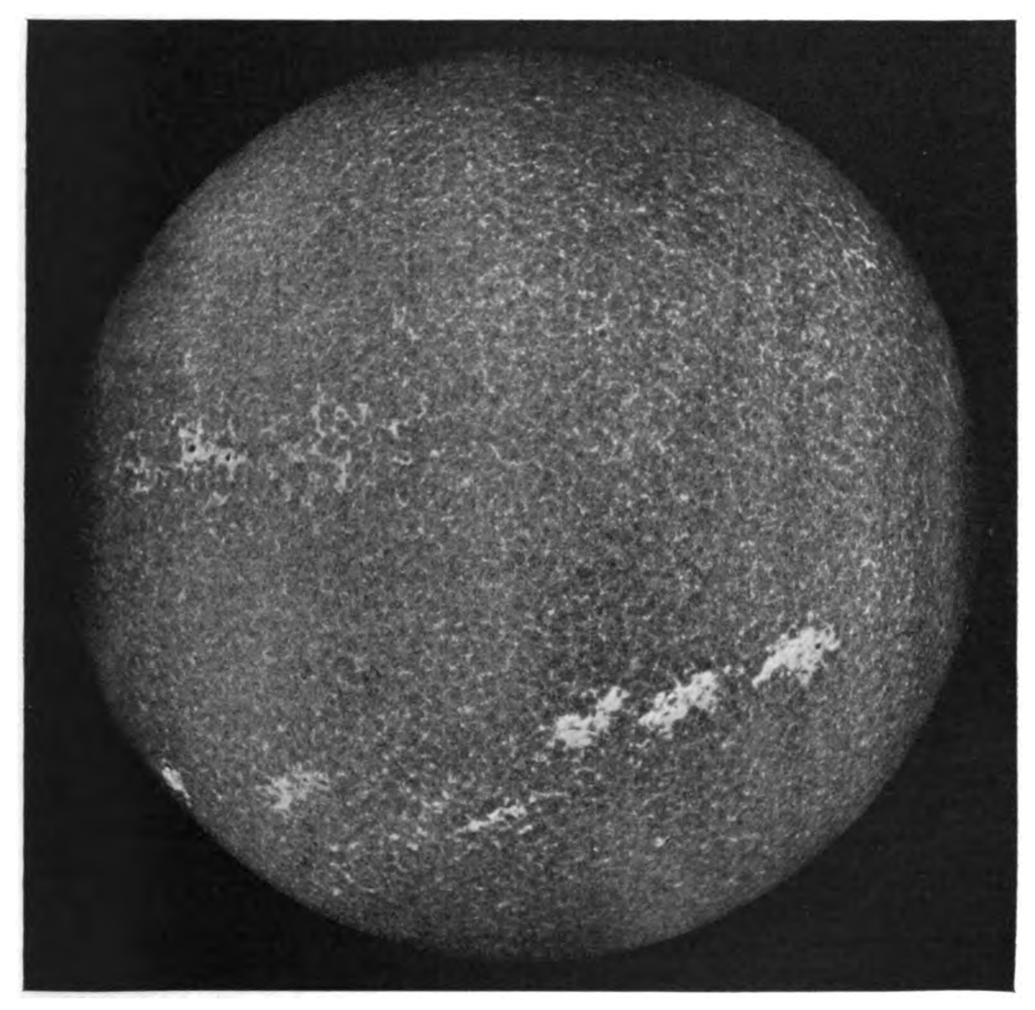
Erst in neuerer Zeit ist es gelungen, ein allgemeines Strahlungsgesetz aufzufinden und experimentell innerhalb sehr weiter Temperaturgrenzen durchzuprüfen, das uns einen einigermaßen sicheren Schluß von der ausgestrahlten Wärme auf die absolute Temperatur des strahlenden Körpers ziehen läßt. Das Stephensche Gesetz sagt, daß die ausgestrahlte Wärmemenge sich verhält wie die vierte Potenz der absoluten Temperatur des strahlenden Körpers. Daraus folgt dann unter Annahme einer Solarkonstante von 5 Kalorien die Temperatur der Sonnenoberfläche zu etwa 7000 Zentigraden. Nach Scheiner, der alle auf verschiedenen Wegen gefundenen und Vertrauen verdienenden Ermittelungen der Sonnentemperatur kritisch zusammengestellt hat, dürfte in der Tat der letztgenannte Wert innerhalb einer Unsicherheit von etwa 1000 Grad auf oder ab der wahrscheinlichste sein.

Außer Licht- und Wärmestrahlen sendet die Sonne noch elektrische und magnetische Kräfte in den Weltenraum. Erstere haben wir schon durch ihre Wirkungen auf die Kometenschweife kennen gelernt. Auf der Erde zeigen sich die magnetischen Wirkungen durch sprungweise erfolgende Abweichungen der Magnetnadel oder deren andauernde Unruhe, sogenannte magnetische Stürme, sobald das Fernrohr uns eine außerordentliche Unruhe der Sonnenatmosphäre verrät. Wir kommen nachher auf diese Beziehungen zurück (S. 292 u. f.). Die hauptsächlichste Wirkung der Sonne aber, ihre Anziehungskraft, soll uns erst im zweiten Hauptabschnitt dieses Werkes beschäftigen.

Wenn das allgemeine Interesse an der Sonne, von der so ganz und gar unser Wohl und Wehe abhängt, verhältnismäßig nur gering ist, so liegt der Grund wohl hauptsächlich in der scheinbar unerschütterlichen Gleichmäßigkeit und Unveränderlichkeit, mit der die Sonne jahraus jahrein uns immer wieder mit ihren Wohltaten überschüttet; denn alltägliche Wohltaten stumpfen nur zu leicht das Dankbarkeitsgefühl ab. Anders war es in den ersten Zeiten der Menschheitsentwickelung und ist es heute noch bei jenen Naturvölkern, deren historische Erinnerung nicht eben weit zurückreicht. Tägliche Gebete dankten und danken heute noch allabendlich für die tausendfältigen Wohltaten, die auch diesen Tag wieder die Sonne gespendet hatte. Mit gespannter Aufmerksamkeit verfolgte man alle Bewegungen des

göttlich verehrten Gestirnes, und mit Todesschrecken wurde alle Welt erfüllt, wenn dieser Lebensquell einmal plötzlich versiegte.

Aber die Wohltaten der Sonne fließen nicht in so gleichmäßigem und unveränderlichem Strom zu uns herab, wie der oberflächliche Augenschein es uns vortäuscht. Abgesehen von den schnell vorübergehenden Verfinsterungen, die durch das Zwischentreten des Mondes



Die Sonne. Aufgenommen mit dem Spektroheliographen der Yerkes-Sternwarte am 12. August 1903. Vgl. Text, S. 276.

bewirkt werden, erzählen alte Chroniken von wochen- und selbst monatelang anhaltenden *Trübungen des Sonnenlichtes*, die allgemein, unabhängig von dem wechselnden Zustand unserer Atmosphäre, die Menschheit beängstigten. So wird berichtet, daß im Jahre 626 vierzehn Tage lang die Hälfte der Sonne schwarz gewesen sei. Die meisten solcher Angaben sind allerdings sehr unbestimmt und lassen viele Deutungen zu. Andere aber machen es ziemlich sicher, daß gelegentlich sehr ausgedehnte Gebiete der Sonnenoberfläche ihre Leuchtkraft für lange Zeit verloren hatten. Sonnenflecke sind vor und nach

der Erfindung des Fernrohres mit bloßem Auge (das entweder geschwärzte Gläser oder die lichtverschluckende Wirkung der Atmosphäre, wenn die Sonne am Horizonte stand, vor ihrer blendenden Überfülle schützten) gar nicht selten gesehen worden.

Untersuchen wir mit Hilfe unserer modernen Sehwerkzeuge das allgewaltige Gestirn, um Aufschluß über die Vorgänge zu erhalten, durch welche die betrachteten Wirkungen erzeugt werden konnten, so erscheint die Sonne als vollkommen runde (also nicht, wie einige Planeten, abgeplattete), scharf begrenzte Scheibe, deren Helligkeit von der Mitte nach dem Rande hin ganz regelmäßig abnimmt. Dies tritt namentlich auf Sonnenphotographien deutlich hervor, nach welchem besonderen Verfahren sie auch hergestellt sein mögen (siehe z. B. die Abbildung, S. 275). Diese Tatsache allein beweist, daß die Sonne von einer Atmosphäre umgeben ist, die wie die unsrige die Lichtstrahlen zum großen Teil absorbiert. Genauere Messungen dieser Absorption der Sonnenatmosphäre sind vorgenommen worden von Langley und von Frost für die Wärmestrahlen, von Vogel für die Lichtstrahlen. Die Wärmemessungen wurden von Langley mit dem Bolometer, von Frost in Potsdam mit der Thermosäule ausgeführt, Instrumenten, die auf verschiedenem Wege die Wärmewirkungen in elektrische umwandeln, in welcher Form sie viel genauer zu messen sind. Vogel untersuchte die Lichtstrahlung photometrisch, indem er vorher das weiße Sonnenlicht durch das Spektroskop in seine Farben zerlegte und dann die Intensität jeder Farbe einzeln maß. Indem man die Intensität der Strahlung in der Mitte der Sonnenscheibe gleich 100 annimmt und den Halbmesser der Sonne sich in 100 gleiche Teile geteilt denkt, werden folgende Zahlenreihen erhalten:

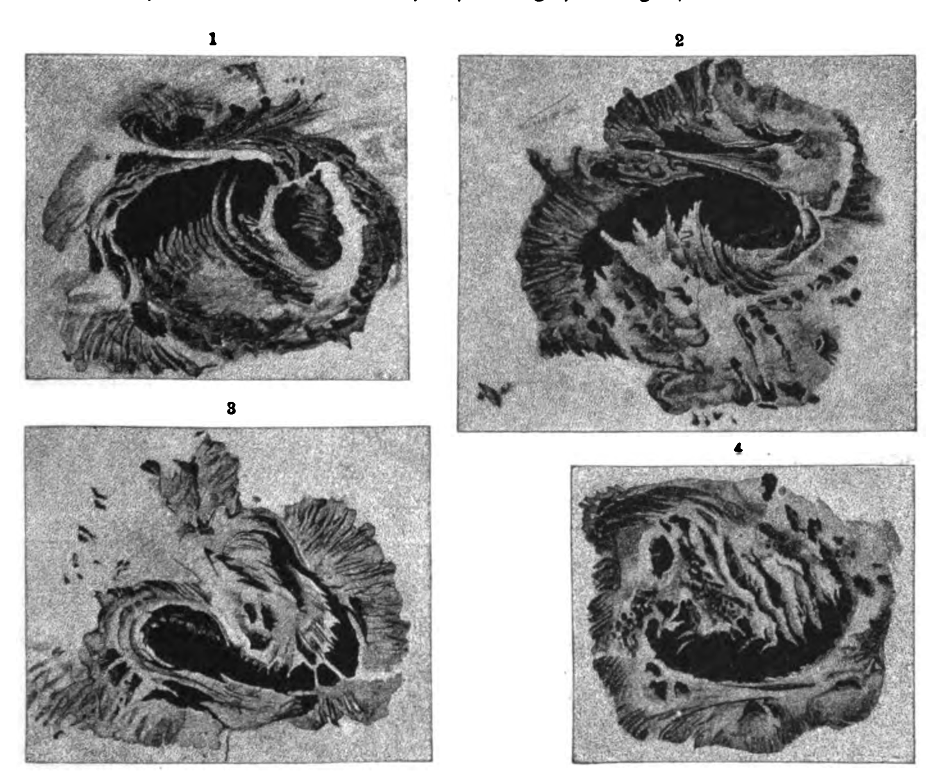
Entfernung von der Mitte	Rote Strahlen	Wärme nach Frost	Gelbe Strahlen
0	100	100	100
30	99	98	98
60	95	90	91
70	91	85	85
80	84	78	75
90	71	68	59

Zwischen der Entfernung 90 und dem Sonnenrande nimmt die Intensität immer schneller ab, doch sind hier die Messungen nicht weiter fortgeführt, weil sie zu unsicher werden. Es läßt sich jedoch aus diesen Zeilen ableiten, daß vom Rande der Sonne weniger als die Hälfte des Lichtes und der Wärme als aus der Mitte ihrer Scheibe zu uns gelangen. Die Intensität der Wärmestrahlung liegt in der Mitte zwischen derjenigen für die roten und gelben Strahlen; weiter nach dem Violett hin (in obiger Tabelle nicht mehr angegeben) nimmt dagegen die Absorption wesentlich mehr ab, der Rand erscheint viel gelber als die Mitte. Die Sonnenatmosphäre wirkt also in dieser Hinsicht ebenso wie die unsrige, die gleichfalls, wie Morgen- und Abendrot uns täglich beweisen, den gelben und roten Strahlen leichteren Durchgang gewährt als den übrigen. Aus den angegebenen Zahlen läßt sich aber auch die Absorption berechnen, die ein Sonnenstrahl erfährt, der auf geradem Wege, nicht schräg, wie am Sonnenrande, die Atmosphäre des Zentralgestirns durchläuft; d. h. also, es läßt sich daraus die Größe berechnen, um die selbst die aus der Mitte der Sonnenscheibe zu uns gelangenden Strahlen kräftiger sein würden, wenn die Sonne keine Atmosphäre besäße. Es findet sich hierfür 0,28 der gewählten Einheit, und weiter folgt, daß die Gesamtwirkung der Sonne 1,7 statt 1 sein würde, wenn sie ihrer Atmosphäre beraubt wäre.

Haben wir uns vorhin schon ein Bild davon zu machen versucht, welche enorme Arbeit auf der Erde durch die Absorption von etwa der Hälfte der uns zuströmenden Sonnen-



wärme in unserer Atmosphäre geleistet wird, während wir doch nur den 2000millionsten Teil der gesamten ausstrahlenden Sonnenwärme empfangen, so werden wir erwarten müssen, daß in der Sonnenatmosphäre ganz unvorstellbare gewaltige Bewegungen vor sich gehen, in die sich diese absorbierte Strahlung verwandelt. In der Tat sehen wir die Atmosphäre der Sonne in fortwährender Veränderung begriffen, so daß oft zwei photographische Bilder der Sonne, die 10 Minuten nacheinander aufgenommen wurden, sehr voneinander abweichen. Wir bedenken dabei, daß eine Zehntelbogensekunde oder der 140. Teil

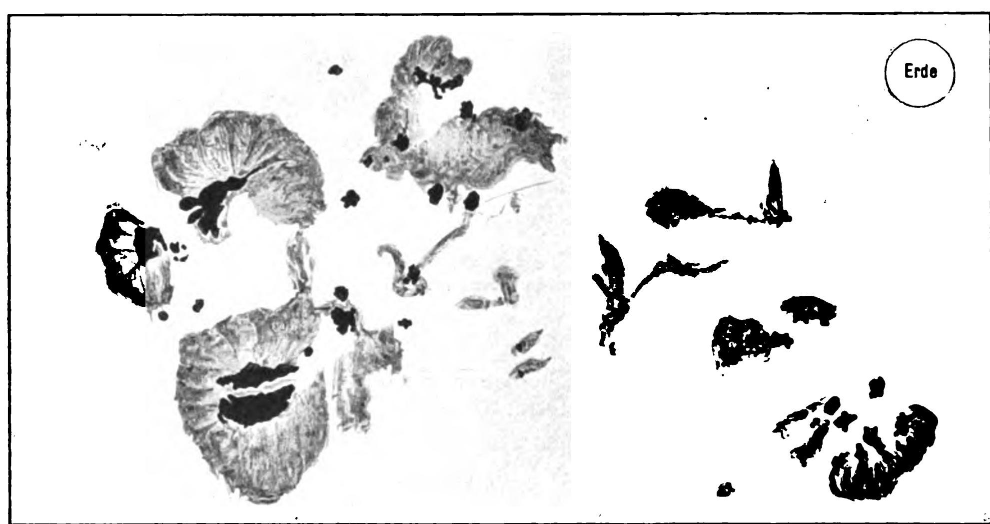


Großer Sonnenfleck vom Februar 1894, gezeichnet von **Th. Moreux** in Bourges: 1) am 20. Februar, 2) am 21. Februar 3) am 22. Februar, 4) am 23. Februar. Vgl. Text, S. 278 u. 279.

der Breite eines Haares, in der Entfernung deutlicher Sehweite gehalten, auf der Sonne für uns eine Strecke von 75 km einnimmt; um so viel (0,1″) muß sich aber mindestens ein Körper auf der Sonne verschieben, wenn wir die dadurch hervorgebrachte Veränderung des Anblickes unter günstigsten Umständen noch sollen wahrnehmen können. Auf der Tafel bei Seite 286 ist die relative Größe der Erde durch einen kleinen schwarzen Kreis unten rechts angedeutet. Der Durchmesser dieses Kreises hält in Wirklichkeit rund 12,800 km. Die Flächenausdehnung eines Fleckes, der die Oberfläche der Sonne, dem bloßen Auge ohne Anstrengung sichtbar, im Februar 1892 zum Teil verdunkelte, übertraf die der Erde um mehr als 18mal, war also etwa so groß wie die des Uranus. Wenn wir diese Ausdehnung allerdings mit der der ganzen Sonne vergleichen, so verschwinden die ungeheuern Dimensionen. Der Fleck nahm etwa den 600. Teil der gesamten Sonne ein, was im Vergleich zu irdischen Dimensionen so viel ist wie die Skandinavische Halbinsel. Im Februar 1894

erschien ein noch größerer Fleck, dessen Aussehen an vier aufeinander folgenden Tagen in den auf Seite 277 abgebildeten, sehr charakteristischen Zeichnungen festgehalten wurde. Die Flecke treten auch häufig in ausgedehnten Gruppen auf, in denen beständige Ver-





Fleckengruppe, gezeichnet von Archenhold am 12. (oben) und 15. Februar (unten) 1907 auf der Treptower Sternwarte.

änderungen vor sich gehen. Eine solche Gruppe von etwa vierzig Flecken ist hier dargestellt, wie sie am 12. und 15. Februar 1907 von Archenhold auf der Treptower Sternwarte gezeichnet wurden. Die Fleckengruppe war mit dem bloßen Auge zu erkennen. Die Größe der Erde ist daneben angegeben. Wir sehen, wie die Gruppe 1 sich im Laufe der drei Tage

deutlich weiter aufgelöst hat. Der Fleck B hatte sich in der Zwischenzeit durch Bildung einer Brücke in zwei Teile getrennt.

Das nähere Studium der Sonnenflecke, dieser auffälligsten Erscheinungen auf der Sonne, wird uns Aufschluß über die Tätigkeit der Sonnenatmosphäre geben müssen, denn in ihr befinden sich augenscheinlich die Flecke. So verworrene Formen wie die auf S. 277 abgebildeten haben meist nur die ausgedehntesten Flecke und Fleckengruppen. Der normale Fleck ist rund oder etwas in die Länge gezogen, wie die beiden nachstehenden Abbildungen zeigen. Auch auf der Tafel bei Seite 283 ist ein normaler Sonnenfleck dargestellt. Man erkennt deutlich einen dunkeln Kern, um den sich ein Hof, der Halbschatten oder die Penumbra, lagert, die ein radial gestreiftes Aussehen hat. Aus diesen Hauptstücken setzen sich, zwar unter den verschiedensten Variationen, alle noch so verwickelten Sonnenflecke zusammen. Der Kern strahlt übrigens trotz seiner relativen Dunkelheit immer noch beträchtliche Mengen von Licht aus, nach Langley mindestens 5000mal mehr als eine gleiche Fläche des Vollmondes. Da die Gesamthelligkeit der Sonne nach demselben Forscher etwa 570,000mal größer ist als die des Vollmondes, so ist der Kernschatten nur etwa 100mal lichtschwächer als die übrige Sonnenoberfläche. Könnte man den Kernschatten eines Sonnenfleckes an den nächtlichen Himmel versetzen, so würde er bei weitem das hellste Gestirn darstellen und selbst bei einem scheinbaren Durchmesser, welcher den der großen Planeten nicht übertrifft, doch ebensoviel Licht über die Landschaft verbreiten wie der Vollmond. Langley hat gleichfalls das thermische Verhalten der Sonnenflecke untersucht und gefunden, daß ein Sonnenfleck etwa nur 54 Prozent von der Wärme der umgebenden Sonnenoberfläche ausstrahlt.



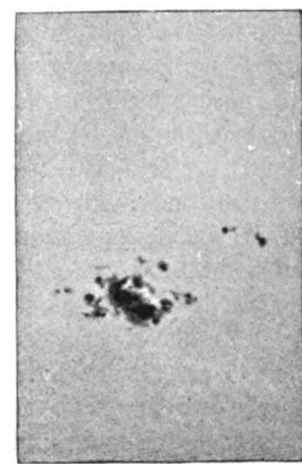
Sonnenflecke: 1) teils durch perspektivische Wirkung elliptisch erscheinender, normaler Sonnenfleck, gezeichnet am 2. Oktober 1882, 2) normaler Sonnenfleck, gezeichnet am 8. August 1892 von Miß E. Brown.

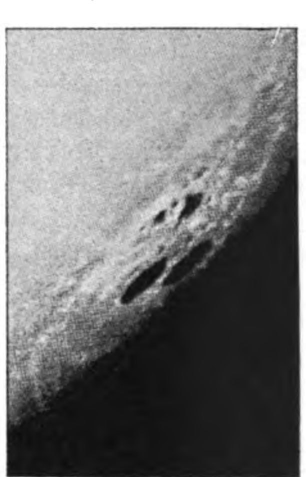
Die Gestaltveränderungen der Flecke sind offenbar nicht alle realer Natur; zum Teil werden sie durch dieselben perspektivischen Erscheinungen hervorgerufen, die wir bereits an den Details auf den rotierenden Planeten wahrnahmen (s. Abbildungen, S. 280 und 281). Auch die Sonne dreht sich um eine Achse, so daß wir ihre Oberfläche in polare, mittlere und äquatoriale Zonen teilen können. Bildet sich ein Fleck nicht sozusagen vor unseren Augen, so erscheint er allemal am östlichen Rande der Sonne in perspektivisch verkürzter Form. Auch bei ganzen Gruppen tritt diese perspektivische Verkürzung sehr deutlich hervor, wie aus der Zeichnung des erwähnten großen Fleckes von Februar 1892 (S. 281) zu ersehen ist, die gleich nach seinem ersten Erscheinen am 5. Februar aufgenommen wurde. Die zweite Zeichnung stellt ihn drei Tage später dar, als er sich schon beträchtlich vom Sonnenrande entfernt hatte. Man erkennt, daß die Veränderung des Aussehens innerhalb dieser drei Tage zum größten Teil nur eine scheinbare war.

Die Zeichnungen beweisen aber auch weiter, daß außer perspektivischen Veränderungen in sehr beträchtlichem Maße wirkliche stattfinden. Es wird kein Sonnenfleck von einiger Ausdehnung, an dem man überhaupt Einzelheiten wahrzunehmen vermag, auch nur einige Tage hintereinander das gleiche Aussehen bewahren. In denjenigen Teilen der Sonne, die unserer Untersuchung zugänglich sind, finden fortwährende heftige Bewegungen statt. Irgendein fester Anhaltspunkt, auf den man sich immer wieder beziehen könnte, wenn

man Messungen der Rotationsgeschwindigkeit der Sonne oder von etwaigen Eigenbewegungen der Flecke ausführen will, ist nicht zu entdecken gewesen. Daher treten bei der Sonne die nämlichen Schwierigkeiten, nur in noch weit höherem Maße, für die Bestimmung der Umlaufszeit auf wie bei Jupiter, der in mancher Hinsicht als ein verkleinertes und abgeschwächtes Abbild der Sonne gelten kann. Auch auf der Sonne zeigen die Flecke eine deutliche Abhängigkeit ihrer Rotationsgeschwindigkeit von ihrem Äquatorabstand. Die Flecke am Sonnenäquator bewegen sich am schnellsten von allen. Sie ergeben eine Rotationszeit von etwa 25 Tagen, jedoch nicht synodisch, d. h. in bezug auf unsere Stellung gerechnet, sondern unabhängig von der Bewegung der Erde um die Sonne, also in bezug auf einen festen Punkt des Himmels. Die synodische Rotation ist etwa zwei Tage länger. Bewegt man sich vom Äquator des







Sonnenfleck vom August 1894. Vgl. Text, S. 279.

Sonnenglobus in höhere heliographische Breiten, so ergibt sich, daß bei 10 Grad Breite sich die Rotationszeit der Flecke bereits um einen Vierteltag, bei 25 Grad um einen ganzen, bei 35 Grad um zwei Tage vergrößert hat. Ein Fleck, der über 40 Grad vom Äquator entfernt ist, braucht schon nahezu 28 Tage, um den Sonnenball zu umkreisen. Über diese Breite hinaus bemerkt man nur noch sehr selten Flecke, so daß man das Gesetz der Verlangsamung der Rotation gegen die Pole hin (zu beiden Seiten des Äquators begegnet man den gleichen Verhältnissen) auf diese Weise nicht weiter verfolgen konnte. In neuerer Zeit aber hat das auf Seite 61 dargestellte Dopplersche Prinzip der Linienverschiebungen die Möglichkeit gewährt, das Rotationsgesetz der Sonne auch noch weit über die Fleckenzone hinaus zu verfolgen. Dunér fand durch das Spektroskop nicht nur die durch Fleckenbeobachtungen gefundenen Zahlen bestätigt, sondern konstatierte weiter, daß die oberen uns allein sichtbaren Teile der Sonnenatmosphäre bei 45 Grad Breite bereits 30, bei 60 Grad 34 und bei 75 Grad 38,5 Tage zu ihrem Umschwung bedürfen.

Es fragt sich nun, wie man diese Tatsache deuten soll. Jedenfalls finden Strömungen sehr heftiger Art in denjenigen Schichten der Sonnenatmosphäre statt, wo wir die Flecke beobachten. Aber es ist nicht ohne weiteres zu entscheiden, ob alle Teile der Sonnenatmosphäre gegen den Kern oder, allgemeiner gesagt, gegen die tieferen, von uns nicht mehr

zu beobachtenden Schichten zurückbleiben, am Äquator nur weniger als in höheren Breiten, oder ob der Äquator voreilt und nur die umliegenden Zonen nachbleiben, oder endlich, ob alle Atmosphärenzonen der innen stattfindenden Rotation vorauseilen, der Äquator aber in stärkerem Maße als die höheren Breiten. Man bleibt also zunächst über die wahre Umdrehungszeit des Sonnenkörpers innerhalb ziemlich weiter Grenzen im unklaren.

Die beobachtete Eigenbewegung der Flecke ist offenbar das Resultat einer gesetzmäßigen Zirkulation der Gase in der Sonnenatmosphäre, ähnlich der, die wir in unserer irdischen Lufthülle wahrnehmen. Die ungleiche Erwärmung durch die Sonne ist, in Verbindung mit dem täglichen Umschwunge der Erde, die Ursache der Zirkulation in der irdischen Lufthülle. Würden wir ähnliche Verhältnisse bei der Sonne voraussetzen können, so wären wir wohl imstande, zwischen den drei angeführten Möglichkeiten für die Erklärung der ungleichen Eigenbewegungen der Sonnenflecke zu wählen und dadurch eine größere Annäherung für die Rotationszeit des Balles selbst zu finden. Aber für eine ungleiche, nach Zonen verlaufende Erwärmung der Sonne selbst ist die Ursache nicht abzusehen, und praktisch ist durch feinste thermometrische Bestimmungen eine verschiedene Ausstrahlung in verschiedenen heliographischen Breiten jedenfalls nicht mit Sicherheit nachgewiesen, wenngleich Andeutungen davon sich zeigten.



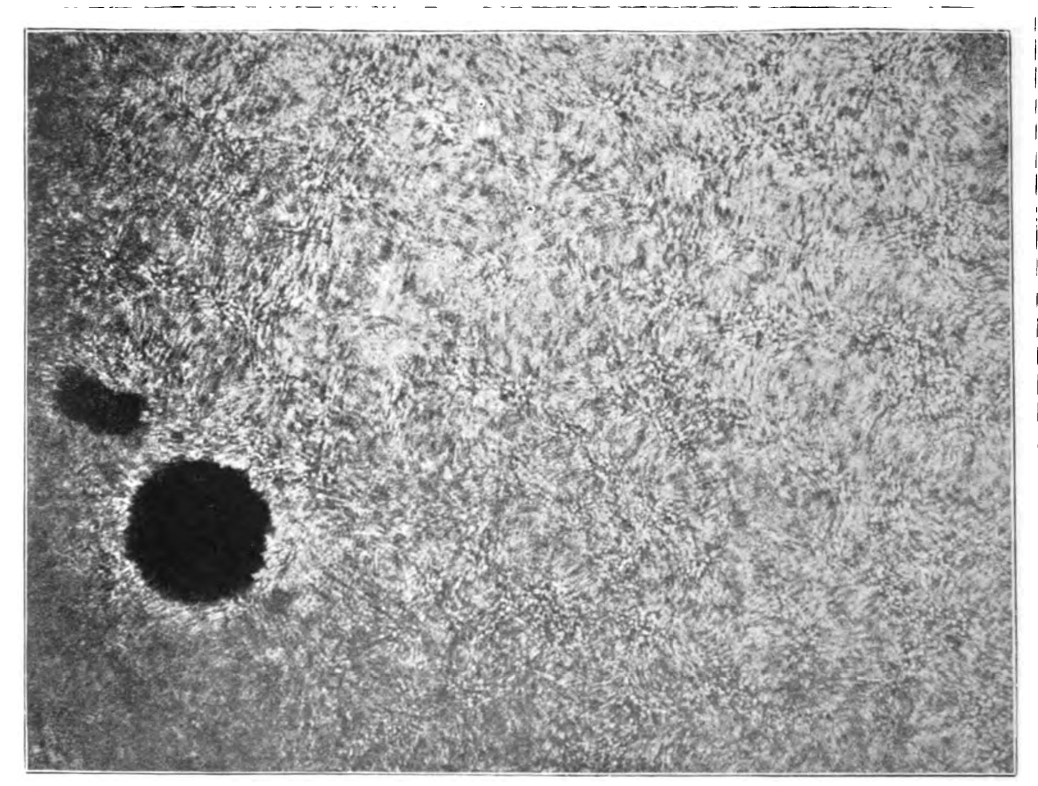
Sonnenfleckengruppe vom Februar 1892, gezeichnet von Miß C. Brown. 1) am Rande auftauchend (5. Februar), 2) in die Scheibe hineingerückt (8. Februar). Vgl. Text, S. 279.

In neuerer Zeit scheint es zu gelingen, die Widersprüche in den verschiedenen Resultaten über die Rotationsgeschwindigkeit der Sonne dadurch zu lösen, daß man zu der Überzeugung gelangt, die Rotationsgeschwindigkeit sei nicht nur vom Äquator nach den Polen hin, sondern auch nach den verschiedenen Tiefen der gasigen Umhüllung der Sonne einer bestimmten Gesetzmäßigkeit unterworfen. Durch die verschiedenen Methoden aber werden gewisse Tiefen besonders bevorzugt, sie geben also immer andere Gesetzlichkeiten als andere Methoden. Wir werden sogleich die verschiedenen Schichten der Sonnenatmosphäre eingehender kennen lernen und dabei zu der Überzeugung gelangen, daß die Schicht, in der die Sonnenflecke zustande kommen, jedenfalls tiefer liegt als die absorbierende Schicht, in der die Fraunhoferschen Linien entstehen, und diese wieder tiefer als die sogenannten Fackeln. Es ist deshalb begreiflich, daß Dunér, dessen Methode auf der Beobachtung der dunkeln Linien beruhte, zu einem Ergebnis kam etwas verschieden von dem, welches die direkte Beobachtung der Sonnenflecke ergab, und daß Stratonoff, der aus einer großen

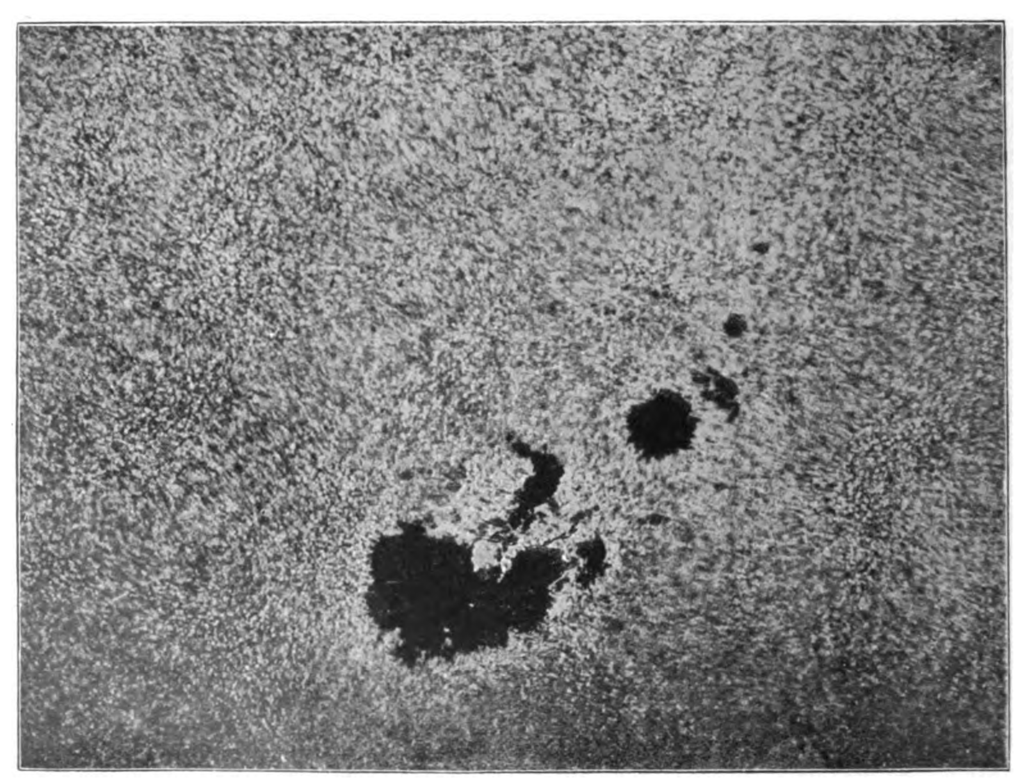
Anzahl von zwischen 1891 und 1894 aufgenommenen Photogrammen die Bewegungen der Fackeln ableitete, wiederum verschiedene Werte für die Sonnenrotation fand, die eine Zwischenstellung einnehmen.

Es läßt sich aber noch auf einem anderen Wege Auskunft über unsere Frage erhalten. Wir werden nämlich im Verlauf unserer weiteren Betrachtungen über den Zentralkörper unseres Systems erkennen, daß er neben den allgemeinen Wirkungen auf das gesamte Getriebe der irdischen Natur auch alle seine spezielleren Regungen für uns merklich auf die Erde überträgt. Größere Sonnenflecke bringen oft in dem Augenblicke, in dem sie den uns zugewandten Meridian des Sonnenglobus passieren, uns also am nächsten sind, Zuckungen aller jener hochempfindlichen Nadeln hervor, die bestimmt sind, die Schwankungen des magnetischen Zustandes unseres Planeten zu verraten. Wir können heute nicht mehr daran zweifeln, daß von der Sonne elektrische Wirkungen ausgehen, die den magnetischen Zustand der Erde beeinflussen müssen. Wenn nun eine Seite der Sonne durch die Bildung von Flecken oder sonstiger entsprechender Vorgänge besonders ausgezeichnet ist, so muß sich dies infolge der Umschwungsbewegung des Sonnenballes durch periodische Veränderungen des magnetischen Zustandes der Erde fühlbar machen. Allerdings ist diese Wirkung nicht durch direkte elektrische Influenz zu erklären, sondern durch besondere Einflüsse, etwa Hertzsche Wellen oder Ausströmungen radioaktiver Substanz aus den Flecken, worauf wir noch zurückkommen. Periodische Schwankungen der Magnetnadel wurden zuerst von Hornstein in Prag im Jahre 1870 nachgewiesen. In neuerer Zeit fand Bigelow aus einer großen Zahl europäischer und amerikanischer Beobachtungen diese Periode gleich 26,68 Tagen, woraus sich die siderische, d. h. von dem Einfluß der Umdrehung unserer Erde befreite Rotationsperiode der Sonne zu 24,9 Tagen ergibt, in sehr naher Übereinstimmung mit dem durch früher besprochene Methoden für den Äquator gefundenen Wert. Da es Helmholtz und andere Forscher aus theoretischen Gründen für wahrscheinlich erklärten, daß die Gashülle eines größeren rotierenden Körpers am Äquator desselben fast genau die Rotationsdauer des Kernes annimmt, während sie in den Breitenzonen zurückbleibt, so darf man an dem letztangeführten Wert als einem näherungsweise richtigen auch für die unserer Forschungen unzugänglichen Schichten der Sonne festhalten.

Jene Periode von etwa 27 Tagen, nach denen unter der gemachten Voraussetzung die Sonne uns immer wieder dieselbe Seite zukehrt, etwa in der Weise, wie unsere Erde ihr innerhalb 24 Stunden stets von neuem denselben Oberflächenteil zuwendet, scheint sich in verschiedenen Erscheinungen unseres Luftmeeres widerzuspiegeln, wenngleich in schwachem Maße. So fand man in den mittleren Temperaturen verschiedener Orte diese Periode wieder, ebenso in den periodischen Schwankungen des Barometerstandes, und Bigelow hat aus zwanzigjährigen Beobachtungen der westindischen Stürme eine merkwürdige Übereinstimmung ihrer Häufigkeit mit den Schwankungen der Magnetnadel innerhalb jener Umdrehungszeit nachgewiesen. Es scheint also wirklich, als ob die Sonne zwei verschieden geartete Seiten besitze, von denen die eine beständig in lebhafterer Tätigkeit begriffen ist als die andere. Wolfer in Zürich hat auch auf gewisse Sonnengebiete aufmerksam gemacht, die durch die häufigere Entstehung von Flecken ausgezeichnet werden. Bestätigt sich diese Vermutung, so müssen wir, entgegen anderen, später noch zu erörternden Meinungen annehmen, daß irgendein leiblich fester Kern hinter den gasigen Hüllen



Weidenblatt-Struktur der Granulation und symmetrisch gebildeter Sonnenfleck.
Aufgenommen am 10. Juni 1887 (Flecken-Minimum).



Reiskorn-Struktur der Granulation und Fleckengruppe. Aufgenommen am 1. Juni 1881 (Flecken-Maximum).

Die Granulation der Sonnenoberfläche.

Nach photographischen Aufnahmen von Janssen in Meudon bei Paris.

verborgen liegt, in denen wir diese ungemein schnellen und heftigen Schwankungen unterworfenen Vorgänge beobachten, die aber dennoch von einer mehr oder weniger festen Gesetzlichkeit beherrscht bleiben.

Um tiefer in das innere Wesen der Sonne zu dringen, wird uns das nähere Studium der Strömungen nützlich sein, die wir in ihrer Atmosphäre gefunden haben. Die eingehendere Untersuchung der Vorgänge in den Sonnenflecken, die uns offenbar Aufschluß über die Bewegungen der Gashülle geben, ist in dieser Hinsicht von hohem Werte.

Fassen wir den Begriff eines Sonnenfleckes ganz allgemein als eine Stelle auf, die sich von der sonst gleichmäßigen Helligkeit der Sonnenoberfläche unterscheidet, so müssen noch zwei Erscheinungen zu den eigentlichen Sonnenflecken hinzugerechnet werden: die allgemeine Granulation der Oberfläche und die sogenannten Fackeln.

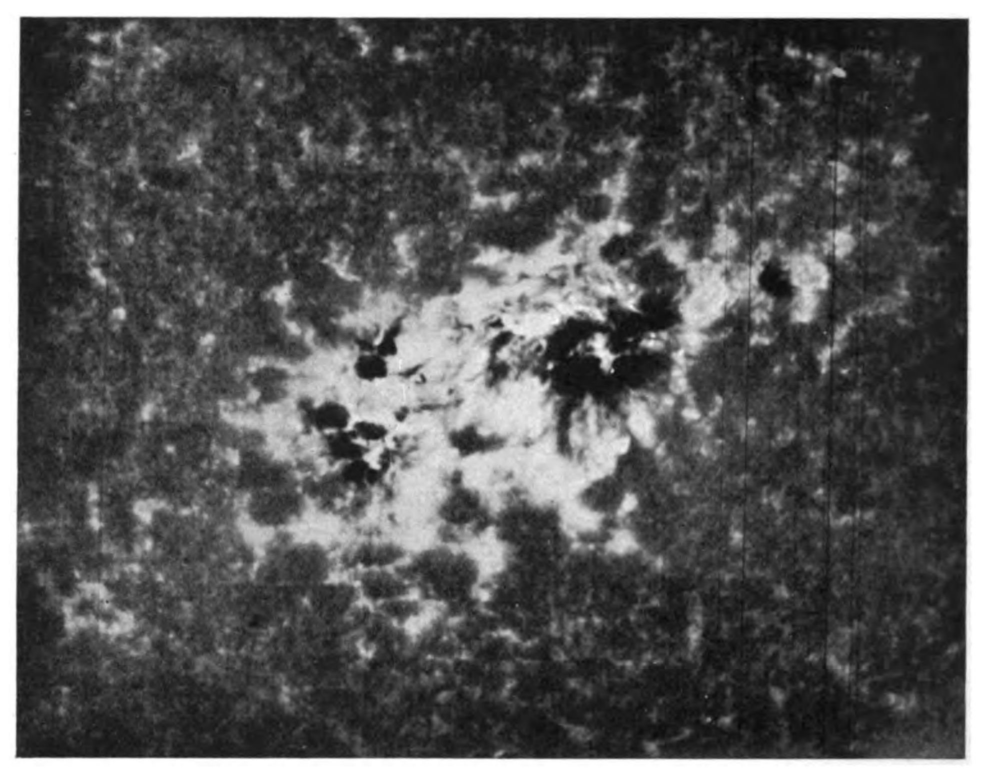
Die Granulation tritt als ein feines Korn auf der ganzen Oberfläche der Sonne, genauer ihrer Atmosphäre, auf, das hier dichter zusammengedrängt ist, dort ein breitmaschigeres Netzwerk dunkler Zwischenstellen übrigläßt. Oft sieht es aus, als sei die ganze Sonnenoberfläche mit winzig kleinen Wolkenballen, den Schäfchenwolken ähnlich, überzogen, oft ziehen sich die helleren Stellen etwas in die Länge, so daß der Anblick an eine Menge zusammengedrängt liegender Reiskörner erinnert. Unsere beiden Abbildungen auf der beigehefteten Tafel geben eine Anschauung von dieser eigenartigen Struktur. Janssen in Meudon bei Paris glaubt bemerkt zu haben, daß die Reiskornstruktur in den Zeiten vorherrscht, in denen die Sonne am meisten Flecke zeigt, dagegen die andere, als weidenblattähnlich bezeichnete in den ruhigeren Zeiten. Die Größe der Körner schwankt zwischen 700 und 2000 km.

Die Entstehung dieser Gebilde denkt sich Scheiner ganz ähnlich wie die unserer Schäfchen- oder Federwolken, die in unserer Atmosphäre unter ihren übrigen Verdichtungsprodukten ebenfalls die höchsten Schichten einnehmen. Eine der letzten Arbeiten des genialen Helmholtz hat sich mit der Entstehung dieser reihig geordneten Schäfchenwolken (Cirrus) befaßt. Er erklärte sie für die Kronen ungemein langer Luftwellen, die unseren Planeten umkreisen. Während die Wellentäler in Regionen bleiben, in denen der vorhandene Druck genügt, die in der Luft enthaltene Feuchtigkeit noch aufgelöst zu erhalten, ragen die Wellenberge schon in zu wenig dichte Schichten empor, wo sie ihre Feuchtigkeit niederschlagen, so daß sie uns als Wolken sichtbar werden. So entstehen zunächst langgestreckte Streifenwolken und beim Einbruch einer anderen Strömung durch die Kreuzung beider Systeme die gereihten Schäfchenwolken. Auch hierdurch sind also die vorerwähnten Strömungen angedeutet. Nach dieser Ansicht ist die Sonnenatmosphäre in ihrem normalen, ruhigen Zustand beständig mit einer Art Cirrusgewölk überdeckt, das uns das Sonnenlicht zustrahlt. Selbstverständlich haben wir nicht an Kondensationsprodukte des Wasserdampfes wie auf der Erde zu denken, sondern müssen uns hier metallische Dämpfe vorstellen, deren Zusammensetzung wir bald näher kennen lernen werden.

Die Entstehung eines Fleckes kündigt sich in der Regel durch ein Auseinandertreten der wolkigen Granulationsgebilde an; es zeigt sich eine Pore. Diese wird größer und zerlegt sich in den Halb- und Kernschatten. Die strahlige Struktur des Halbschattens setzt sich übrigens nach Langley, wenn auch nur ganz schwach angedeutet, bis in den Kernschatten fort. Bei verhältnismäßig ruhiger Weiterentwickelung winden sich die Strahlen, als ob das Ganze ein Wirbel erfaßt hätte. Oft schießen Reihen von jenen Halbschattenstrahlen



bis gegen die Mitte des Kernes vor, bald vereinigen sie sich selbst mit der gegenüberliegenden Seite: es ist eine Brücke entstanden, gewöhnlich das erste Anzeichen der Rückbildung. Der Halbschatten breitet sich immer weiter aus und überdeckt bald völlig den Kern. Nach einiger Zeit ist jede Spur der Störung verschwunden. Aber nur in den seltensten Fällen spielt sich die Erscheinung so einfach ab. Sehr oft, namentlich in den Zeiten größerer Fleckenhäufigkeit, bilden sich mehrere dunkle Zentren gleichzeitig und fließen zu einer chaotisch durcheinanderwirrenden Masse zusammen, wie die früher abgebildeten Fleckengruppen



Sonnenfleck. Aufgenommen mit dem Spektroheliographen der Yerkes-Sternwarte am 10. Oktober 1903. Vgl. Text, S. 285.

zeigen. Auf der im Sinne der Sonnenrotation nachfolgenden Seite des Fleckes entstehen immer neue, sich ausbreitende und wohl auch mit dem ursprünglichen zusammenwachsende Flecke. Das Ganze nimmt schließlich jene riesigen Dimensionen an, von denen wir früher sprachen, und bleibt oft während mehrerer Rotationsperioden bestehen. Schwabe in Dessau, wohl der eifrigste Sonnenbeobachter um die Mitte des 19. Jahrhunderts, glaubt sogar einen Fleck 22mal wiederkehren gesehen zu haben; dieser Fleck hätte dann über anderthalb Jahre bestanden. Ganz große Flecke sind immerhin während mehrerer Umläufe in nicht wesentlich veränderter Ausdehnung gesehen worden.

Die Lichtbrücken, welche die Überflutung des Fleckes durch die gewöhnliche Materie der Sonnenoberfläche einleiten, sind oft merklich heller als die nicht gestörte Umgebung des Fleckes; wenn dann der Fleck ganz verschwunden ist, bleibt dafür manchmal eine solche hellere Stelle übrig, die man als Fackel bezeichnet. Doch treten diese meist dem

Augenschein nach unabhängig von den Flecken auf. Immer aber zeigen sie sich nur in der Nähe des Sonnenrandes, was sich einfach durch die geringere Leuchtkraft dieser Randpartien erklärt, die so zarte Unterschiede noch erkennen läßt.

Um die Erforschung dieser interessanten Gebilde, der Fackeln, über die ganze Sonnenoberfläche hin ausdehnen zu können, hat George Hale in Chicago ein sinnreiches Mittel erfunden, bei dem wiederum das lichtzerlegende Prisma eine wichtige, wenngleich von seinem gewöhnlichen Gebrauch sehr abweichende Rolle spielt. Es hat sich nämlich gezeigt, daß in den Fackeln die Spektrallinien H und K, die dem Kalzium angehören, neben anderen Linien ganz besonders hell erscheinen. Auf die Deutung dieser Erscheinung kommen wir später zurück. Hale befestigt nun zunächst ein Spektroskop am Okularende seines Fernrohres und verdeckt das entworfene Sonnenspektrum gänzlich bis auf eine dieser beiden Linien. Es befindet sich also hier am Orte dieser Linie ein zweiter Spalt. Hinter dem zweiten Spalt wird nun eine photographische Platte angebracht, auf die mithin nur Licht von dieser Linie, monochromatisches Licht, fallen kann. Instrument und Platte werden nach zwei Richtungen derart verschoben, daß nacheinander alle Punkte der Sonnenscheibe nur durch eine jener Linien H und K, die sich übrigens in dem photographisch wirksamsten Teile des Spektrums befinden, auf die Platte wirken. Wo keine Fackeln sind, verschwindet die Linie und macht der allgemeinen Helligkeit des kontinuierlichen Farbenbandes Platz. Die Fackeln müssen sich also durch besonders starke chemische Wirkung auf der Platte sichtbar machen, was in schönster Weise erreicht worden ist. Auf unserer Abbildung, Seite 275, ist eine solche Halesche Sonnenphotographie wiedergegeben. Wir sehen, daß auch Sonnenflecke mit abgebildet worden sind, da sie notwendig eine noch bedeutendere allgemeine Abschwächung des Spektrums und damit der zur Photographie benutzten Region desselben hervorrufen müssen.

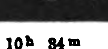
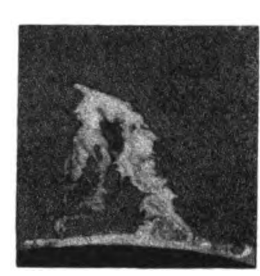
Auf Seite 284 ist eine Abbildung eines auf diese Weise festgehaltenen Fleckes mit umgebenden Fackeln wiedergegeben. Wir bemerken, wie den Fleck wild zerzauste „Kalziumwolken" umgeben.

Alles deutet darauf hin, daß die Fackeln über die allgemeine Sonnenoberfläche, die von der Granulation überzogen wird, hervorragen. Jedenfalls stehen sie in engem Zusammenhange oder sind sogar nach Hale identisch mit den Hervorragungen, Protuberanzen, die man bei totalen Sonnenfinsternissen schon im gewöhnlichen Fernrohr über den Rand der im übrigen vom Mond verdunkelten Sonne wie riesige Flammen sich erheben sieht.

Diese Protuberanzen haben eine merkwürdige Geschichte. Obwohl schon ältere Schriftsteller von den Flammen geredet hatten, die in den Augenblicken der totalen Verfinsterung der Sonne plötzlich aus ihr hervorzubrechen schienen, so sind die in jenen Momenten sehr auffälligen, mit dem bloßen Auge leicht erkennbaren Gebilde doch eigentlich erst seit der Mitte des 19. Jahrhunderts wissenschaftlicher Beobachtung gewürdigt worden. Es mochte dies teilweise daher rühren, daß man in der Erregung, in die jeden Beschauer das Phänomen einer völligen Verfinsterung des Tagesgestirns versetzt, die Erscheinung übersah, oder daß man sie für irgendwelche optische Täuschung hielt, die wohl unsere Bewunderung hervorrufen, aber keine Veranlassung zu sehr eingehenden Studien bieten könne. Noch im Jahre 1860, als am 18. Juli eine in Spanien sichtbare totale Finsternis stattfand, zu deren Beobachtung eine große Anzahl von Astronomen sich dort eingefunden hatte, waren viele von ihnen der Meinung, daß die Protuberanzen, die sich damals in außerordentlicher Schönheit

zeigten, nichts Reelles seien, sondern nur durch Brechung des Lichtes an den Unregelmäßigkeiten des Mondrandes erzeugt würden. Unter diesen Beobachtern befand sich auch der sehr vorsichtige Genfer Astronom Plantamour, dessen Zeichnung der verfinsterten Sonne aus jener Zeit wir auf der beigehefteten Tafel wiedergeben. Die über diese Frage entstehende Kontroverse hatte das Interesse der Astronomen für die merkwürdigen Objekte wachgerufen, und nun war es wiederum das Spektroskop, das den definitiven Beweis für die Zusammengehörigkeit der Protuberanzen mit der Sonne gab.

Als man während der Finsternis vom 18. August 1868 das neue Forschungswerkzeug auf den Sonnenrand richtete, während die übrigen Teile des Tagesgestirns vom Monde verdeckt waren, sah man plötzlich helle Linien an Stelle der dunkeln Fraunhoferschen Absorptionslinien auftauchen, ein Beweis dafür, daß hier *glühende, selbstleuchtende Gase* vorhanden sind, die nur im Inneren der Sonne ihren Ursprung haben können. Janssen, der über die ungemeine Helligkeit dieser Linien sehr erstaunt war, sprach damals sofort seine Überzeugung aus, daß man dieselben auch zu


10ʰ 34ᵐ 10ʰ 40ᵐ 10ʰ 58ᵐ

Eruptive Protuberanz, photographiert von Hale auf dem Kenwood-Observatorium in Chicago am 25. März 1895. **Vgl. Text, S. 287.**

anderen Zeiten als bei Gelegenheit einer Sonnenfinsternis sehen würde, also die Existenz von Protuberanzen durch das Spektroskop jederzeit nachweisen könne. Dies bestätigte sich durchaus; ja noch mehr, man ist heute imstande, nicht nur die Linien der Protuberanzen, sondern sie selbst in ihrer eigentümlichen Gestalt mit Hilfe des Spektroskops zu sehen. Unabhängig von Janssen hatten indes schon Huggins und Zöllner Methoden zur Beobachtung der Protuberanzen angegeben. Diese Beobachtung geschieht, indem man zunächst den Spalt so dreht, daß er den Sonnenrand tangiert. Es kann dann also durch den Spalt nur Licht von Gegenständen auf das Prisma fallen, die sich außerhalb des eigentlichen Sonnenkörpers in seiner Atmosphäre befinden. Die Protuberanzen erzeugen nur sehr wenige helle Linien; z. B. sieht man die des Wasserstoffs in ihnen, am auffälligsten in der Regel eine Linie im Rot. Öffnet man nun den Spalt immer mehr, so verbreitern sich die Linien, ohne jedoch übereinander zu greifen. Aber nur da, wo Licht von den Protuberanzen durch die Spaltöffnung fällt, kann das aus der Linie entstandene Band hell erscheinen, während es an den anderen Stellen dunkel bleibt. Es wird also jedes Band, beispielsweise das der Wasserstofflinien, in seiner ihm eigentümlichen Farbe ein Bild der Protuberanz enthalten müssen. Auf diese Art wird heute täglich der ganze Sonnenrand nach Protuberanzen abgesucht, um sie im Bilde festzuhalten.



SONNENPROTUBERANZEN.

a. **Sonnenfinsternis mit Protuberanzen**, vom 18. Juli 1860; nach Plantamour.

b. **Sonne** mit antipodischen Protuberanzen, beobachtet von *Trouvelot* in Meudon bei Paris am 26. Juni 1885.

c. **Protuberanz**, beobachtet von *Fényi* in Kalocsa am 19. September 1893. (Die kleine schwarze Scheibe rechts stellt die relative Größe der Erde dar.)

Eine solche Flamme, von Hale mit seinem Spektroheliographen in kurzen Intervallen wiederholt aufgenommen, stellt unsere Abbildung auf Seite 286 dar. Man sieht hier das schnelle Emporwachsen der eruptiven Erscheinung.

Was früher nur in den seltenen Minuten der Totalität einer Sonnenfinsternis flüchtig gesehen werden konnte, vermag man also heute mit den sich stetig verfeinernden Forschungsmitteln jederzeit messend zu verfolgen. Man hat hierdurch in den Protuberanzen Vorgänge von noch weit imposanterer Art aufgedeckt, als es die Sonnenflecke sind. Man sieht oft zu derselben Zeit, in der eine sehr große Anzahl von Flecken auf mächtige Störungen des Gleichgewichtszustandes in der Sonnenatmosphäre hinweisen, im Laufe von wenigen Minuten ganz gewaltige Flammen aus dem Sonnenkörper hervorbrechen und sich zu ungeheuern Höhen erheben. So sah Fényi, Direktor eines ungarischen Privatobservatoriums, am 20. September 1893 im Laufe einer Viertelstunde eine Flamme bis zu der enormen Höhe von 500,000 km über den Sonnenrand emporschlagen; das entspricht etwa dem vierten Teile des ganzen Sonnendurchmessers. Der Genannte machte genauere Messungen über das Emporsteigen der Erscheinung und fand z. B., daß sie innerhalb 425 Sekunden um 148,000 km gestiegen war, also in der Sekunde 350 km.

Von allen in der Natur zu beobachtenden Vorgängen zeigen nach der Fortpflanzung des Lichtes und der Elektrizität nur die wenigen Kometen, die der Sonne so nahe kamen, daß sie fast ihre Oberfläche streiften, vergleichbare Geschwindigkeiten. Man stelle sich Flammen vor, die 20- und mehrmal höher als der Durchmesser unseres ganzen Erdballs beträgt, mit einer Geschwindigkeit, welche die unserer Geschütze beinahe um das Tausendfache übertrifft, aus dem glühenden Sonnenballe geworfen werden. Nach Zöllner ist der Druck, der zum Auftrieb der Protuberanzen nötig ist, gleich 68,815,000 Atmosphären. Was sind dagegen die Eruptionen unserer Vulkane! Es ist begreiflich, daß viele Forscher angesichts der Unvorstellbarkeit solcher Vorgänge daran zweifeln, daß hier wirklich die Gase, die das Spektroskop verrät, aus dem Sonnenkörper herausgeschleudert würden, sondern glauben, die Gase seien stets vorhanden und würden nur durch elektrische oder sonstige Einwirkungen plötzlich ins Glühen gebracht. Da wir indes auf der Sonne überall unvorstellbaren Zuständen oder Vorgängen begegnen, dürfen wir von vornherein nicht die Möglichkeit wirklicher mechanischer Auftriebe von solcher Gewalt bestreiten.

Einen Tag vor dem erwähnten imposanten Ausbruch vom 20. September 1893 hatte der genannte ungarische Beobachter eine andere Flamme von 360,000 km Höhe an der diametral entgegengesetzten Stelle des Sonnenrandes gesehen und wie in unserer beigehefteten Tafel gezeichnet. Die vorerwähnte hatte fast genau dieselbe Form. Das gleichzeitige Auftreten verwandter Phänomene auf antipodischen Punkten der Sonne steht nicht vereinzelt da. Am 26. Juni 1885 zeichnete Trouvelot auf der Sternwarte von Janssen in Meudon bei Paris das gleichfalls auf unserer Tafel gegebene Bild der Sonne mit zwei sich gegenüberstehenden Protuberanzen von 460,000 km Höhe. Auch große Gruppen von Sonnenflecken hat man schon in ähnlichen diametralen Stellungen beobachtet.

Die Protuberanzen können sehr verschiedene Formen annehmen; während die erste hier erwähnte flammenartig ist, erscheinen die beiden antipodischen mehr wie leuchtende Bänder. Auf der Sonnenfinsterniszeichnung von Plantamour findet man sogar eine von der Oberfläche gänzlich losgelöste rote Wolke. Häufig sieht man eine große Strecke des Sonnenrandes mit einer Menge von ganz kleinen, spitz zulaufenden Flämmchen überzogen;



oft, namentlich in den Regionen hoher heliographischer Breiten, in denen Sonnenflecke nicht mehr vorkommen, nehmen die Protuberanzen entsprechend dem offenbar ruhigeren Charakter der Sonnenatmosphäre ein nebelhaftes Aussehen an und erheben sich bei weitem nicht mehr in so große Höhen wie in der Nähe des Äquators. Nicht selten bemerkt man, daß eine Flamme sich oben in Flocken oder Wolken auflöst, die dann allmählich wieder zur Sonnenoberfläche hinabsinken. Auch die Farbe der Protuberanzen ist verschieden und oft schnellem Wechsel unterworfen. Vorherrschend ist allerdings die rote Farbe; es sind aber auch gelbe, violette und weißliche aufgetreten.

Eine Reihe von Protuberanzen, die während der totalen Sonnenfinsternis am 30. August 1905 mit dem 20 Meter langen photographischen Fernrohr der Expedition der Hamburger Sternwarte in Souk-Ahras (Algerien) aufgenommen wurden, ist hier abgebildet. Das Gebiet dieser Sonneneruptionen umfaßte am Rande des verfinsterten Gestirns nicht weniger wie 420,000 km, und die Höhe der Flammen betrug mindestens 40,000 km.



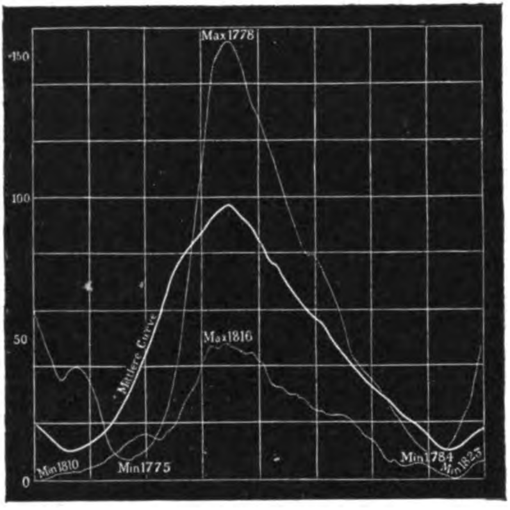
Sonnenprotuberanz, photographiert am 30. August 1905 in Souk-Ahras (Algerien).

Zurücksinkend scheinen jene Auswürfe meist rosenfarbener Gase eine sehr dünne, rötliche Schicht zu unterhalten und zu speisen, die wir über der weißen, hauptsächlich leuchtenden Schicht, der sogenannten Photosphäre, am Rande der Sonne unterscheiden können. Wir haben also zunächst zwei voneinander deutlich getrennte Gashüllen der Sonne gefunden: die, welche durch das Cirrusgewölk der Granulation gebildet wird, die Photosphäre, und in der sich offenbar das Phänomen der Sonnenflecke abspielt, und jene dünne rosenfarbene Schicht, Chromosphäre genannt, die, durch tiefer angeregte Vorgänge zuzeiten emporgetrieben, die Protuberanzen weit in den Raum hinausschickt.

Über dieser Chromosphäre aber ruht noch eine dritte Dunsthülle der Sonne, die in ihrem Wesen rätselhaft geblieben ist und heute noch das ehemalige Schicksal der Protuberanzen teilt, da sie nur in den Augenblicken der totalen Verfinsterung des Tagesgestirns sich unseren forschenden Blicken darbietet, was in Anbetracht des Umstandes, daß nicht jede Sonnenfinsternis beobachtet werden kann, innerhalb mehrerer Jahre nur wenige Minuten lang eintritt. Man nennt diese dritte Atmosphäre die Korona. Ihre silbergrauen Strahlen, die bei Anbruch der Totalität der Verfinsterung plötzlich hinter dem Mondrande hervorschießen, und deren Eindruck wir in unserer farbigen Tafel der Sonnenfinsternis vom 30. August 1905 in Assuân bei Seite 5 wiederzugeben versuchten, bilden die geheimnisvollste und wunderbarste Erscheinung, die der Moment der völligen Verfinsterung

hervorzaubert. Auch die Korona ist gleich den Protuberanzen, und zwar noch bis in die jüngere Zeit hinein, für ein bloßes optisches Phänomen gehalten worden.

Die Korona stellt sich als eine helle, strahlenförmig die verfinsterte Sonne umgebende Aureole dar, die wie alles auf der Sonne sehr verschiedene Form und Ausdehnung annehmen kann. Man kann diese Veränderungen natürlich nur nach Verlauf der größeren Intervalle bemerken, die zwischen totalen Sonnenfinsternissen liegen; während der Minuten der Totalität selbst behalten die häufig sehr langen Strahlenausläufer ihre Lage bei. Letztere sind oft ganz geradlinig, oft in eigentümlicher Weise umgebogen, so, wie man es bei den Eisenfeilspänen bemerkt, die sich um den Pol eines Magneten gruppieren. Sie treten immer nur in der Sonnenfleckenzone auf; an den Polen ist der ganze Schein eingeengt, so daß man von einer beträchtlichen Abplattung dieser äußersten Atmosphärenschicht der Sonne sprechen kann. Vergleichen wir die alten Zeichnungen der Korona (S. 49) mit einer Photographie derselben auf Seite 294/5 so erkennen wir den gewaltigen Fortschritt, den namentlich hier die lichtempfindliche Platte zeitigte, wo in der Hast des Augenblickes treue Wiedergaben der seltenen Erscheinung gar nicht durch die menschliche Hand zu erhalten waren. Wie seltsam erscheint uns heute auch die Korona-Darstellung auf der erwähnten Plantamourschen Zeichnung auf der farbigen Tafel bei Seite 286.



R. Wolfs Kurven der Sonnenfleckenhäufigkeit.
Vgl. Text, S. 290.

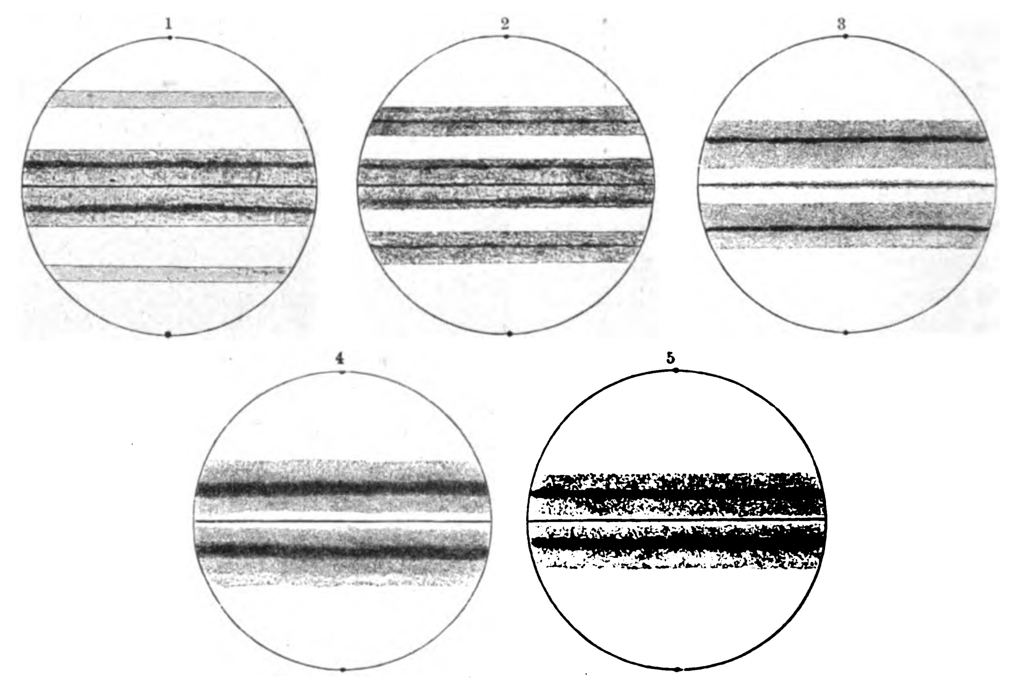
Da die Korona helle Linien im Spektrum aufweist, die nur ihr eigentümlich sind und glühende Gase verraten, und seit es namentlich Deslandres gelungen zu sein scheint, durch das Dopplersche Prinzip nachzuweisen, daß dieser Strahlenkranz mit der Sonne rotiert, also gleichsam mit ihr fest verbunden ist, so muß man die Korona notwendig als etwas Reelles erklären, nicht etwa ausschließlich für den Widerschein der Sonnenstrahlen von lose im Raume schwebenden Partikeln vielleicht meteorischen Ursprunges, wozu man bis vor kurzem noch geneigt war.

Alle diese Erscheinungen aber, die wir hier zunächst nur ihrem äußeren Wesen nach beschrieben haben, das Auftreten der Sonnenflecke, der Fackeln und Protuberanzen, das Aussehen der Sonnenoberfläche im allgemeinen, die Struktur ihrer Granulation, endlich Ausdehnung und Form der Korona, sind periodischen, gemeinsamen Schwankungen unterworfen, mit denen wir uns eingehender beschäftigen müssen, ehe wir an eine Erklärung der physischen Vorgänge auf dem ungeheuren Weltkörper gehen können.

Von der mit der Sonnenrotation zusammenfallenden Periode haben wir schon gesprochen (S. 280 u. 282). Zu ihr gesellt sich die merkwürdige elfjährige Periode der Sonnentätigkeit. Ihr Vorhandensein wurde zuerst 1843 von Schwabe vermutet und 1852 von Rudolf Wolf in Zürich nachgewiesen. Wolfs mit bewundernswerter Sorgfalt und Umsicht ausgeführte Fleckenstatistik ergab die Länge der Periode zu 11,3 Jahren,

mit einer Unsicherheit von etwa einem drittel Jahr. Die Schwankungen der Fleckenhäufigkeit sind also nicht von jener Regelmäßigkeit, die man an den Bewegungen der Himmelskörper wahrzunehmen gewohnt ist. Im Durchschnitt kann sich das Maximum um drei Monate, in einzelnen Fällen aber um ein ganzes Jahr und mehr verspäten oder verfrühen.

Die Abbildung auf Seite 289 veranschaulicht durch Kurven diese Verhältnisse. Die senkrechten Linien teilen die Zeitabschnitte ab, die horizontalen geben die Anzahl der beobachteten Flecke an, in gewissen von Wolf eingeführten Relativzahlen ausgedrückt, die einen Ausgleich zwischen den verschiedenen Beobachtern und Instrumenten herstellen. Die stark aus-

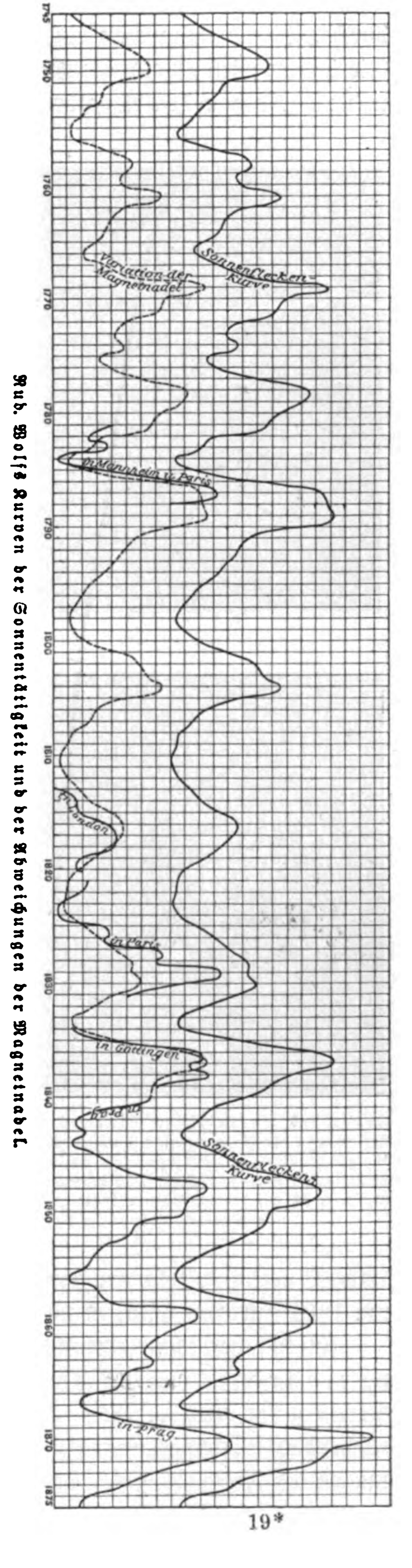


Verteilung der Sonnenflecke: 1) kurz vor dem Minimum, 2) kurz nach dem Minimum, 3) vor dem Maximum, 4) im Maximum, 5) nach dem Maximum. Vgl. Text, S. 291.

gezogene Kurve ist die aus allen Beobachtungen abgeleitete mittlere Schwankung, die beiden schwächeren Linien veranschaulichen die tatsächlichen Verhältnisse für die Perioden 1775—1784 und 1810—23. Sie repräsentieren zwei extreme Fälle besonders großer und sehr geringer Sonnentätigkeit. Während also durchschnittlich die Anzahl der Sonnenflecke im Maximum durch die Relativzahl 100 ausgedrückt wird, erreichte sie 1816 nur 50, stieg dagegen 1778 auf 150. Im Minimum von 1810 und 1823 war die Sonne längere Zeit völlig fleckenlos, in den beiden jener außergewöhnlichen Tätigkeit von 1778 vorangehenden und folgenden Minima dagegen wies die Sonne immer noch einige Flecke auf. Aus allen drei Kurven ersieht man ferner, daß nach einem Minimum die Anzahl der Flecke viel schneller steigt, als sie nachher bis zum nächsten Minimum wieder abnimmt. Vom Minimum zum Maximum vergehen etwa zwei Jahre weniger als vom Maximum zum Minimum. Ähnliche Wahrnehmungen macht man bei allen Erscheinungen, die von der Störung eines Gleichgewichtszustandes hervorgerufen werden: die Störung ist immer schneller geschaffen,

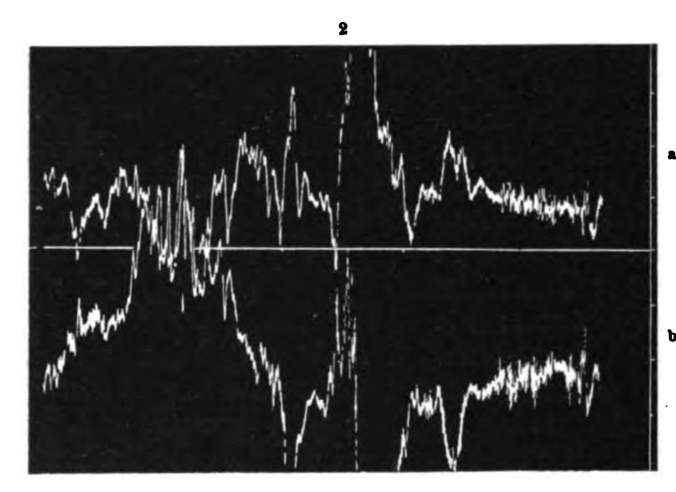
als sie wieder ausgeglichen werden kann. Ferner sind kräftigere Äußerungen der Sonnentätigkeit auch immer von kürzerer Dauer als leichtere Störungen: bei größerem Aufwande von Kraft gibt sich die letztere schneller aus.

Während dieses mehr oder weniger regelmäßigen An- und Abschwellens der Fleckenhäufigkeit ist etwa seit der Mitte des 19. Jahrhunderts, d. h. seitdem man sich mit den Flecken überhaupt eingehender beschäftigt, ein eigentümliches Spiel von Strömungserscheinungen wahrgenommen worden, das allem Anschein nach auf einer inneren Gesetzmäßigkeit beruht. Nachdem die Sonne nahezu fleckenfrei gewesen ist, treten die ersten Störungen ihrer sprichwörtlichen Reinheit in höheren Breiten der Fleckenzone, etwa bei 30 Grad nördlich oder südlich, auf. Das Maximum der Verteilung rückt dann gleichzeitig mit dem der Häufigkeit überhaupt langsam von beiden Seiten gegen den Äquator hin, wo die letzten Flecke verschwinden, wenn das Minimum wieder heranrückt. Jenseits der beiden 40. Breitengrade kommen Flecke nur selten vor, wie schon in den ersten Stadien der Fleckenbeobachtung (z. B. vom Jesuitenpater Scheiner, der mit Galilei in einen Prioritätsstreit betreffs der ersten Entdeckung verwickelt war) bemerkt worden ist. Der polnächste Fleck, der jemals beobachtet wurde, befand sich in 51 Grad nördlicher Breite. Dieses merkwürdige Spiel entdeckte zuerst Carrington; es ist dann von Wolf und Spörer weiter verfolgt worden. Sehr anschaulich hat Spörer diese Breitenbewegungen der Fleckentätigkeit während der elfjährigen Periode in den schematischen Zeichnungen auf Seite 290 dargestellt, die ohne weiteres verständlich sind. Wolf erklärt diese Vorgänge durch Strömungen, die innerhalb der elfjährigen Fleckenperiode von den Polen zum Äquator vorschreiten und wieder zurück zirkulieren müssen, ganz ähnlich den jahreszeitlichen Bewegungen der oberen Schichten unserer irdischen Atmosphäre. Gleich nach dem Minimum beginnt die Strömung an den Polen und trifft mit den vom Äquator noch von der vorangehenden Periode zurückkommenden in den subtropischen Breiten zusammen, wie es bei uns in dem durch die regelmäßigen Regenzeiten ausgezeichneten Gürtel der Fall ist. Hier setzt die Fleckenbildung



Rud. Wolfs Kurven der Sonnentätigkeit und der Abweichungen der Magnetnadel.

durch Wirbelerscheinungen ein, die den auf der Erde bei Stürmen beobachteten ähneln. Die immer stärker werdende Polströmung drängt die kritische Zone der Wirbelstürme mehr und mehr gegen den Äquator hin. Schließlich kommt dort in den oberen Schichten die Bewegung nach und nach zur Ruhe, muß sich aber unterhalb durch Gegenströmungen nach dem Pol hin fortsetzen, die dann aufsteigend und umkehrend die nächste Fleckenperiode veranlassen. Es entstehen dadurch elfjährige Pulsationen des Sonnenballes, von denen wir noch zu sprechen haben werden.



Kurve des magnetischen Sturmes vom Februar 1892: 1) Kurve der Bewegungen der Magnetnadel, selbsttätig aufgezeichnet in Greenwich vom 12. auf den 13. Februar 1892; a) Bewegungen der Deklination, b) Bewegungen der horizontalen Kraft; 2) Kurve der Bewegungen der Magnetnadel, selbsttätig aufgezeichnet in Greenwich vom 13. auf den 14. Februar 1892; a) Bewegungen der Deklination, b) Bewegungen der horizontalen Kraft. Vgl. Text, S. 293.

Wolf glaubte eine größere, fünf kleinere umfassende Periode, also von etwa 56 Jahren, entdeckt zu haben, in denen ein ganz besonders starkes Maximum eintreten sollte. Später ist er selbst hierüber zweifelhaft geworden. Neuere Untersuchungen, namentlich von Schuster, der die Annalen in bezug auf Flecke, die schon mit bloßem Auge sichtbar wurden, bis 188 n. Chr. zurückverfolgte, haben eine größere Periode von 33—34 Jahren, also von drei 11,3jährigen ziemlich sicher gestellt, die sich auch in den meteorologischen Erscheinungen widerspiegelt, worauf wir noch zurückkommen. Ob das sehr beträchtliche Maximum, das im Jahre 1905/06 stattfand, solch ein Hauptmaximum war, oder ob dies erst bei der nächsten Periode um 1916 eintreten wird, ist noch zweifelhaft.

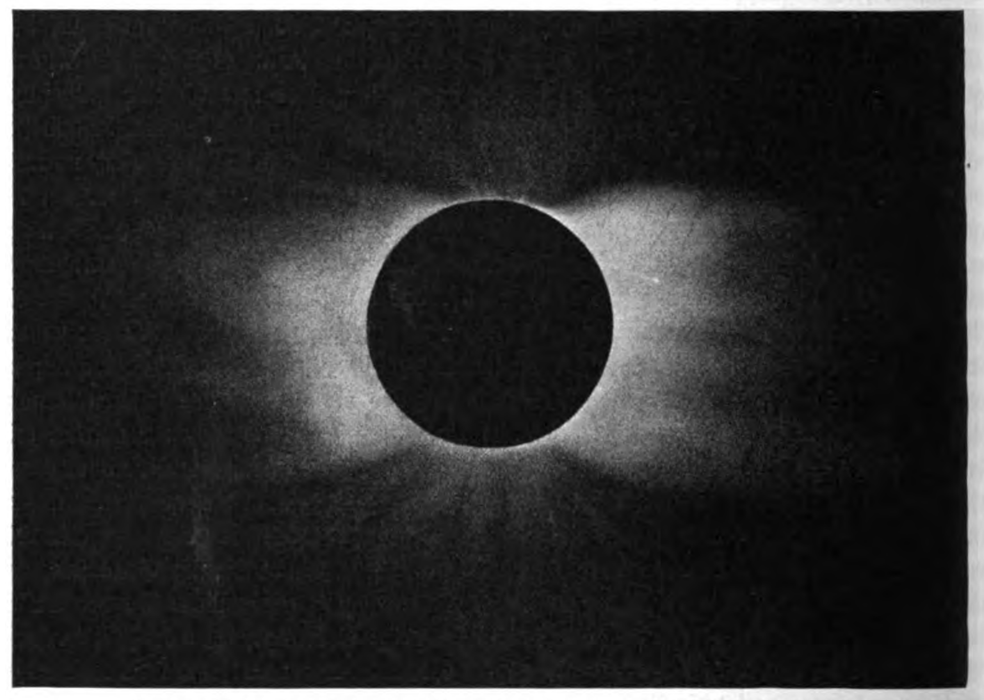
Um so sicherer konnte Wolf den ungemein engen Zusammenhang der Fleckenperiode mit den Schwankungen der magnetischen Kraft unseres Planeten nachweisen. Die beiden auf Seite 291 abgebildeten Kurven müssen in ihrer überraschenden Übereinstimmung Verwunderung hervorrufen. Die oberste stellt die Schwankungen der Fleckenhäufigkeit in den Jahren zwischen 1745 und 1875 dar, die andere zeigt,

welche Abweichungen von ihrer mittleren Lage die Magnetnadel auf der Erde in 149½ Millionen km Entfernung von jenen Flecken aufwies. Die gestrichelte Kurve ist aus Mittelwerten verschiedener Beobachtungsorte abgeleitet, die ausgezogenen Linien entsprechen den Beobachtungen an den beigefügten Orten. Wir sehen, wie jede Einbiegung der einen auch in der anderen hervortritt. Verfolgt man diese Schwankungen der Magnetnadel bis in ihre einzelnen Impulse (unsere Kurve gibt nur Mittelwerte), so kann man mit ziemlicher Sicherheit, ohne die Sonne jemals anzusehen, aus der Beobachtung der Magnetnadel den jeweiligen Fleckenreichtum der Sonne oder auch die augenblickliche Lage einer bekannten Fleckengruppe auf der Sonnenscheibe angeben. Man betrachte in dieser Hinsicht die nebenstehenden Zickzacklinien, welche die Magnetnadel selbst vom 12. auf den 14. Februar 1892 aufgezeichnet hat. Wir wissen bereits, daß in diesen Tagen ein abnorm großer Fleck durch die rotatorische Bewegung der Sonne über ihre Scheibe hingeführt wurde. Am 12. passierte er den der Erde zugekehrten Meridian der Sonne, befand sich also uns am nächsten. Die Magnetnadel benahm sich dabei zunächst noch ganz normal, denn die Wirkung hinkt der Ursache immer um eine bestimmte Zeit nach. Aber am 13. geriet die Nadel plötzlich in wahrhaft fieberhafte Zuckungen: ein magnetischer Sturm von ungewöhnlicher Heftigkeit war ausgebrochen. Darauf flammte am 14. ein prachtvolles Nordlicht über ganz Westeuropa auf, das bis Rom gesehen wurde. Da die Polarlichter in engstem Zusammenhange mit dem magnetischen Zustande der Erde stehen, kann es uns nicht mehr verwundern, wenn sie gleichzeitig mit den gewaltigen Störungen auf dem Zentralkörper unseres Systems auftreten, welche Areale von planetarischen Dimensionen in chaotische Bewegungen versetzen. Während dieser magnetischen Gewitter, wie bereits Humboldt die Polarlichter zubenannte, bewegen sich oft mächtige Erdströme elektrischer Natur unter der Oberfläche hin und teilen sich unseren Telegraphenleitungen mit. Oft quer durch einen ganzen Kontinent hin klappern dann die Morseapparate wie von unsichtbarer Hand bearbeitet, und jede telegraphische Verständigung bleibt stundenlang unmöglich. Und die Ursache aller dieser Störungen ist allein jener Sonnenfleck in 149½ Millionen km Entfernung. Die größte derartige Störung seit 30 Jahren trat am 31. Oktober 1903 auf. Als damals ein großer Sonnenfleck gerade seine Trichterschlünde der Erde zukehrte, geriet die Magnetnadel in Zuckungen, die sie um mehr als 200 Bogenminuten aus ihrer Normalrichtung ausschlagen ließen; auch ein weit ausgedehntes Nordlicht erschien an diesem Tage. Merkwürdig ist es dagegen, daß der etwa zwei Wochen vorher durch den der Erde zugekehrten Sonnenmeridian gegangene große Fleck, dessen spektroheliographische Aufnahme wir auf Seite 284 brachten, und der der größte seit denselben 30 Jahren gesehene war, zwar auch magnetische Störungen verursachte, aber bei weitem nicht so intensive wie jener kleinere Nachfolger.

Es ist begreiflich, daß man die Periode der Sonnentätigkeit auch noch in anderen irdischen Vorgängen wiederzufinden hoffte, namentlich in den Schwankungen der meteorologischen Verhältnisse, bei denen man schon seit langer Zeit nach Gesetz und Regel sucht. Wir haben bereits gesehen, daß die 27tägige Umdrehungsperiode der Sonne in der Tat sich in einigen meteorologischen Erscheinungen widerspiegelt. Nun hatte Brückner bereits seit längerer Zeit nach Klimaschwankungen geforscht, die sich periodisch wiederholen. Er fand in der Tat zu einer Zeit, als Wolf noch die 55jährige Periode aufrecht erhielt, eine 34—35jährige Schwankung klimatischer Verhältnisse, für die sich



dann erst nachträglich eine Übereinstimmung mit der später nachgewiesenen dreimal 11,3jährigen herausstellte. Schwankungen der Durchschnittstemperatur der ganzen Erde lassen sich zwar nur sehr unsicher ermitteln wegen der vielen lokalen Einflüsse auf dieses meteorologische Element. Es scheint aber doch, als ob diese Temperatur elfjährig um etwa einen Zentigrad schwankt, indem die Zeit des Fleckenmaximums die kühlere ist. Eine allgemeine Erniedrigung der Temperatur muß aber gleichzeitig die Niederschlagsmengen der betreffenden Periode steigern, weil kältere Luft weniger Feuchtigkeit festzuhalten vermag als wärmere. Die gesteigerte Niederschlagsmenge drückt sich aber durch das

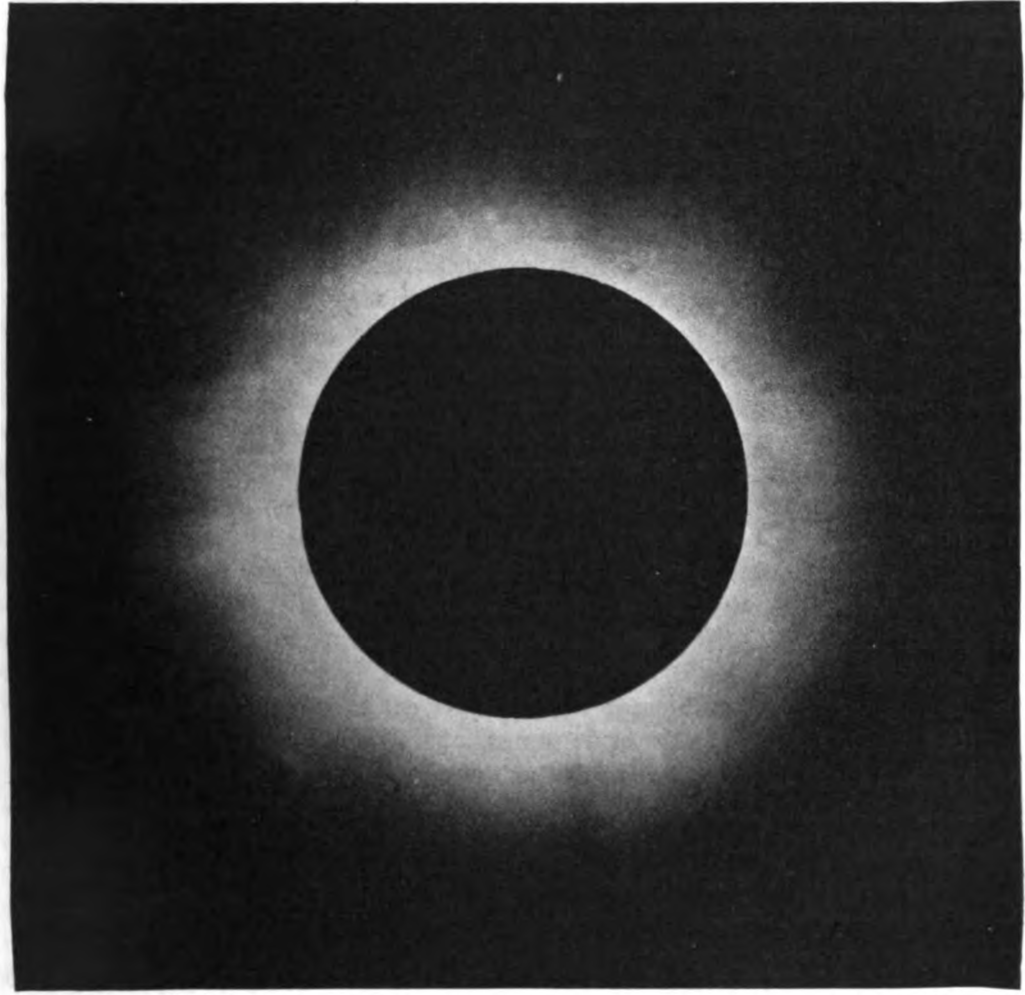


Sonnenkorona während der Finsternis vom 28. Mai 1900. Vgl. Text, S. 296.

Steigen der Binnenseen aus, die sie aufzunehmen haben, und solche Schwankungen, insbesondere des Kaspisees, der das Sammelbecken eines sehr ausgedehnten Landgebietes ist, hat nun Brückner wirklich innerhalb jener dreifachen Sonnenfleckenperiode nachweisen können. Auch das Vorrücken der Gletscher ist eine Folge vermehrter Niederschläge, und auch diese zeigen deshalb die Brücknersche Periode.

In diesem periodischen Vorrücken und Zurückweichen der Gletscher scheint nun noch eine säkulare Periode vorhanden zu sein. Viele Gletscher reichten vor mehreren hundert Jahren wesentlich tiefer herab, während an anderen Orten unter den zurückweichenden Eisströmen Ruinen von alten Hüttenbauten hervorgetreten sind, die beweisen, daß das Gebirge einstmals wesentlich eisfreier gewesen sein muß. Es führte dies zu der Frage, ob nicht die innerhalb von Jahrzehntausenden sich abspielenden Eiszeitperioden ihre Ursache in entsprechenden Schwankungen der Sonnentätigkeit gehabt haben. Erwägt man, daß Langley, der jüngstverstorbene amerikanische hervorragende Sonnenforscher,

um 1903 herum eine sehr beträchtliche Herabminderung der Solarkonstante, also der Sonnenstrahlung, unzweifelhaft nachwies, die auf ein Herabsinken der Gesamttemperatur der Erdatmosphäre von nicht weniger wie 7 Grad theoretisch schließen ließ, und hält man hiergegen die Überzeugung unseres ersten Eiszeitforschers Penck, nach der das Eiszeitphänomen



Sonnenkorona während der Finsternis am 30. August 1905. Photographisch aufgenommen in Santa Barbara (Spanien). Vgl. Text, S. 296.

durch eine Temperaturerniedrigung von 3—5 Grad völlig zu erklären sei, so muß man wohl zugeben, daß zum mindestens eine der gewiß mehrfachen Ursachen jener großen Klimaschwankungen der geologischen Vorzeit in einer schwankenden Sonnentätigkeit zu suchen ist.

In neuerer Zeit hat Osthoff in Köln, ein erfahrener Wolkenforscher, auch eine Beziehung der Wolkenformen unserer obersten Atmosphärenschichten zu der Fleckenperiode nachgewiesen. Die leichten Feder- und Cirruswolken zeigen danach viel kompliziertere, feiner zergliedertere Formen in den Zeiten der Fleckenmaxima als in den Perioden der größeren Sonnenruhe, wo sie verschwommener werden.

Die polarisierenden Wirkungen, bei denen irgend ein Gleichgewichtszustand in eine Plus- und eine Minuswirkung zerrissen wird, wie beim Magnetismus und der Elektrizität, spiegeln sich anscheinend nicht nur auf der Erde, sondern auch bei anderen der Sonne nahestehenden Himmelskörpern wider. Wir erinnern an das phosphoreszierende Licht auf der Nachtseite der Venus, das eine kräftige Polarlichterscheinung sein dürfte, und dessen Auftreten an die Fleckenperiode gebunden zu sein scheint. Ferner ist hier der von Berberich wahrscheinlich gemachte Zusammenhang der Häufigkeit teleskopischer und der Helligkeit wiederkehrender Kometen mit der Sonnenfleckenperiode zu erwähnen, die von dem wechselnden elektrischen Zustande der Sonne abhängig sind.

Alle Eigentümlichkeiten, die wir bei den Flecken an dem wechselnden Auftreten und der wechselnden Verteilung über die Zonen der Sonnenoberfläche kennen lernten, finden wir auch bei den Fackeln wieder; sie zeigen dieselbe Periodizität ihrer Häufigkeit und ein ähnlich wechselndes Verbreitungsgebiet. Sie können aber in höheren Breiten vorkommen als die Flecke, fehlen jedoch in größerer Nähe der Pole gleichfalls. Sie sind beständiger als die Flecke. Wolfer, der die Arbeiten Wolfs auf der Züricher Sternwarte als sein Nachfolger fortsetzt, hat Fackelgruppen nicht selten während acht Sonnenumdrehungsperioden wiederkehren sehen. Aber es ist durchaus nicht nötig, daß da, wo Fackeln auftreten, auch Flecke sich bilden.

Mit einer sehr bezeichnenden Einschränkung sind auch die Erscheinungen der Protuberanzen von der Fleckenperiode abhängig. Bei der spektroskopischen Untersuchung, mit der wir uns gleich noch näher beschäftigen werden, hat es sich herausgestellt, daß es zwei wesentlich voneinander verschiedene Arten von Protuberanzen gibt: die einen bestehen fast ausschließlich aus Wasserstoff und den anderen leichten Sonnengasen, von denen wir noch hören werden, die anderen aus schweren Metalldämpfen. Nun zeigt es sich, daß die Wasserstoffprotuberanzen von der Fleckenperiode nicht beeinflußt werden. Sie kommen auch rings um die Sonnenscheibe herum bis ganz zu den Polen hin vor. Sie sind offenbar die beständigen Quellen zur Erhaltung der Chromosphärenschicht, die aus den gleichen Gasen besteht. Die metallischen Protuberanzen dagegen treten nur in der Fleckenzone auf und zeigen dieselbe Gesetzlichkeit in bezug auf ihre Häufigkeit und wechselnde Lage innerhalb der elfjährigen Periode. Die metallischen Eruptionen haben also offenbar ihren Ursprung in den Schlünden der Sonnenflecke selbst.

Auch in der Form der Korona spiegelt sich deutlich die elfjährige Periode wider. Die auf Seite 294 und 295 abgebildeten Aufnahmen derselben zeigen dies unmittelbar. Die erste wurde während der Finsternis vom 28. Mai 1900 erhalten, als die Sonne sich im Minimum ihrer Tätigkeit befand, die zweite zur Zeit des letzten Fleckenmaximums. Man sieht, wie sich bei dieser Aufnahme die Korona ziemlich gleichmäßig um die verfinsterte Sonne ausbreitet, während zur Minimumzeit ein sehr deutlich verschiedenes Verhalten der Äquatorgegend gegen die der Pole hervortritt. Von den Polen gehen Strahlen aus, die sich mehr und mehr dem breiten verwaschenen äquatorialen Lichtbüscheln anschließen. Es ist sehr auffällig, daß gerade zur Zeit des Minimums eine größere Entfaltung der Korona in denselben Gebieten stattfindet, wo während des Maximums die größte Fleckenhäufigkeit beobachtet wird. Es entwickeln sich also schon zur Zeit der scheinbar größten Sonnenruhe die Vorgänge, die den Anlaß zur Entstehung der Flecke geben.

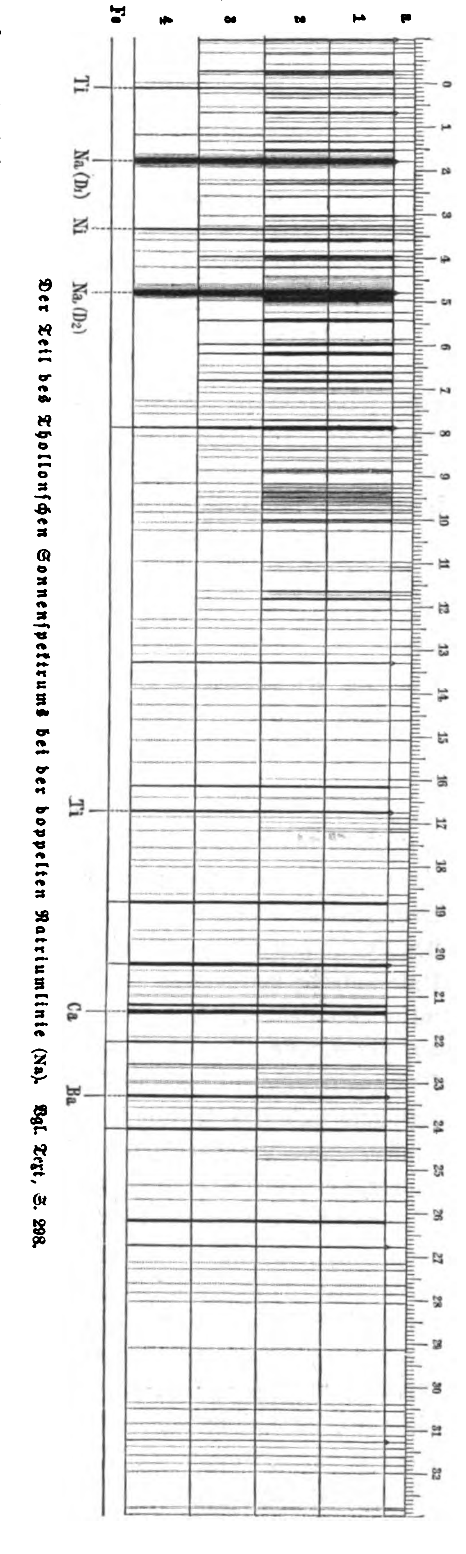
Nachdem wir so die hauptsächlichsten Erscheinungen auf der Sonne, die der direkte Anblick uns enthüllt, aufgezählt haben, wobei wir uns des Spektroskops nur als eines



Hilfsinstrumentes bedienten, das uns einerseits beim Photographieren von gewissen Einzelheiten, anderseits zur Konstatierung von Bewegungen Dienste leistete, haben wir nun das Spektroskop in seiner eigentlichen Eigenschaft zur Erforschung der materiellen, chemischen Beschaffenheit der Stoffe anzuwenden, welche die Erscheinungen auf der Sonne bewirken.

Aus dem Kapitel über die Spektralanalyse wissen wir bereits, daß das Sonnenlicht viele Tausende der sogenannten Fraunhoferschen dunkeln Linien aufweist, die das Vorhandensein einer absorbierenden Atmosphäre über einem glühenden Kern verraten, und daß diese atmosphärischen Dämpfe zum größten Teil aus Metallen bestehen, die auf der Erde in diesen luftförmigen Zustand entweder gar nicht oder doch nur sehr schwer überzuführen sind. Der direkte Augenschein steht hiermit in vollem Einklang, da er eine Atmosphäre unzweifelhaft macht und in Verbindung mit der enormen Licht- und Wärmeausstrahlung zugleich darauf schließen läßt, daß man es in der Sonnenatmosphäre mit viel schwerer zu verflüchtigenden Stoffen zu tun haben müsse, als die sind, die in unserer irdischen Dunsthülle Bewegungen und Zustände von einer unverkennbaren äußeren Ähnlichkeit mit jenen auf der Sonne hervorbringen.

Das Sonnenspektrum ist in seiner ganzen Ausdehnung mit allen seinen feinsten Linien auf das genaueste ausgemessen worden. Die ultraroten Strahlen oder das Wärmespektrum ist namentlich von Langley eingehender Untersuchung unterzogen worden; auch in ihm trifft man Absorptionsbanden, also Gebiete geringerer Wärmestrahlung, an. Das sich daranschließende sichtbare Spektrum durchmaßen besonders sorgfältig Angström in Upsala, Vogel, der kürzlich verstorbene Direktor des astrophysikalischen Observatoriums in Potsdam, und später Müller und Kempf von derselben Anstalt, ferner der Amerikaner Rowland und Thollon in Nizza. Von dem durch letzteren entworfenen Sonnenspektrum ist bereits im Kapitel über Spektralanalyse die Rede gewesen (s. S. 61). Eine kleine Partie



Der Teil des Thollonschen Sonnenspektrums bei der doppelten Natriumlinie (Na). Vgl. Text, S. 298.

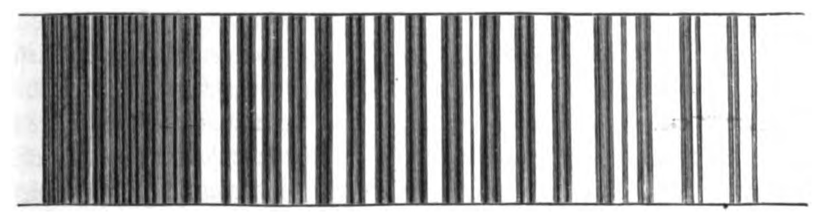
dieses Thollonschen Spektrums ist Seite 297 abgebildet. Es ist die Umgebung der doppelten Natriumlinie D. Wir sehen, wie hier sogar zwischen den beiden Linien D1 und D2, die in gewöhnlichen Instrumenten nur schwer voneinander zu trennen sind, noch andere Linien vorhanden sind. Es hält schwer, sich in diesem Gewühl von Linien zurechtzufinden. Das in Scheiners Buch über die Spektralanalyse der Gestirne veröffentlichte Verzeichnis der Linien des sichtbaren Sonnenspektrums enthält 4020 Linien zwischen den Wellenlängen 389,5 und 692,5. Hieran schließt sich die Tabelle der Linien des ultraroten Teiles, die nach Abneys Aufstellung noch 590 Linien bis 986,7 Wellenlänge enthält. Damit aber ist die Zahl der wirklich im Sonnenlicht enthaltenen Absorptionslinien noch längst nicht erschöpft. In neuerer Zeit hat Langley ein durch bolometrische Messungen hergestelltes „Wärmespektrum" veröffentlicht, das sich mehr als noch einmal soweit gegen das ultrarote Ende fortsetzt als alle bisher bekannten (bis zur Wellenlänge 5300), worin noch viele hundert weitere Linien nachzuweisen waren. (Siehe auch des Verfassers „Naturkräfte", Tafel bei Seite 196). In neuerer Zeit hat Rowland eine Tafel der Wellenlängen des Sonnenspektrums herausgegeben, das nahezu 20,000 gemessene Linien enthält.

Es handelt sich nun darum, diese Linien mit solchen zu vergleichen, die von irdischen Lichtquellen erzeugt werden. Man sollte meinen, daß dies mit Leichtigkeit auszuführen sei. Aber hier stößt man auf die Schwierigkeit, daß sehr genaue Messungen der Spektren irdischer Stoffe im Laboratorium des Physikers teils wegen der ungemeinen Langwierigkeit der Arbeit, teils wegen der obwaltenden experimentellen Hindernisse, nicht in genügender Zahl vorliegen, namentlich auch nicht in einer Form, die eine direkte Vergleichung mit den astronomischen Messungen zuläßt. Es handelt sich dabei namentlich um geringe Verschiedenheiten der angewandten Maßstäbe, die bei der enormen Fülle der Fraunhoferschen Linien im Sonnenspektrum Koinzidenzen der gefundenen Zahlen nicht ohne weiteres als beweisend für das wirkliche Zusammenfallen der Linien erscheinen lassen. Scheiner sagt in dieser Beziehung sehr bezeichnend: „Man kann leider die Behauptung aufstellen, daß man heute weniger über die Deutung der Fraunhoferschen Linien weiß, als man vor 10 Jahren wenigstens zu wissen glaubte." Die Chemiker, die möglichst reine Stoffe zur spektroskopischen Untersuchung herzustellen haben, und die Physiker müssen in der Folge den Astronomen mehr unterstützen, wenn er seine schwierige Aufgabe, das Vorhandensein irdischer Stoffe auf der Sonne mit aller wissenschaftlichen Schärfe nachzuweisen, befriedigend lösen soll. Fast nur das Eisen ist mit genügender Genauigkeit spektroskopisch untersucht worden. Nach Rowland sind 2000 Eisenlinien im Sonnenspektrum vorhanden. Thalén hat 1204 dieser Linien nach allen Regeln der feinsten Beobachtungskunst gemessen. Beinahe alle diese Linien, jedenfalls über tausend, sind im Sonnenspektrum genau an der gehörigen Stelle wiedergefunden worden. Die fehlenden Linien sind zweifelhafter Natur, teils wegen ihrer Schwäche, teils aus anderen Gründen, so daß man die Übereinstimmung beider Spektren als denkbar vollkommen erklären muß. Nach Angström sind ferner folgende Elemente durch die beigeschriebene Anzahl von Linienkoinzidenzen auf der Sonne nachgewiesen: Titan (118), Kalzium (75), Mangan (57), Nickel (33), Kobalt (19), Chrom (18), Barium (11), Natrium (9), Magnesium (4), Wasserstoff (4). Dazu kommen noch nach Lockyer Palladium (5), Strontium (4), Molybdän (4), Vanadin (4), Blei (3), Uran (3), Beryllium (3), Aluminium (2), Kalium (2), Zink (2), Kadmium (2), Cerium (2) und Lithium mit nur einer Koinzidenz; ferner führt Rowland noch an: Kohlenstoff mit 200 Linien, die seltenen Metalle

Zirkonium, Skandium, Neodymium, Lanthan, Yttrium, Niobium, Rhodium, Erbium, Germanium, endlich Silizium, Kupfer, Silber und Zinn.

Als nicht mit genügender Sicherheit nachgewiesen gelten die Elemente Platin, Osmium und Iridium, dann Ruthenium, Tantal, Thorium und Wolfram, die alle auch auf der Erde ziemlich selten sind.

Sicher nicht auf der Sonnenoberfläche anzutreffen sind die schweren Metalle Wismut, Gold und Quecksilber, dann Antimon, Arsen, Bor, Cäsium, Indium, Schwefel, Phosphor, Selen, endlich Rubidium, Thallium, Praseodymium und Stickstoff. Zu den noch immer nicht ganz unzweifelhaften Elementen gehört auch noch der bei uns so reichlich vorhandene und im irdischen Haushalt völlig unentbehrliche Sauerstoff. Seine Linien kommen im Sonnenspektrum zwar sehr zahlreich vor, aber sie entstehen in unserer eigenen Atmosphäre und werden immer schwächer, je höher man sich mit dem Spektroskop über die Dünste unseres Luftkreises erhebt. Janssen hat eigens zur Entscheidung dieser wichtigen Frage, ob Sauerstofflinien der Sonne eigentümlich sind, ein Observatorium auf dem Montblanc errichten lassen. Endgültige Resultate sind dort noch nicht erzielt worden. Wir



Gruppe atmosphärischer Absorptionslinien bei der Fraunhoferschen Linie A.

geben einen besonders charakteristischen Teil der sogenannten atmosphärischen Linien im obenstehenden Bilde wieder, nämlich den bei der Fraunhoferschen Linie A, also im äußersten Rot, gelegenen. Wir sehen, wie diese Linien eigentümlich breit sind; viele eng beieinander liegende Linien, die nicht mehr einzeln gesehen werden können, bilden sogenannte Banden. Ebendeshalb ist die Koinzidenz schwerer nachzuweisen, und Hilfsmittel, die etwa das Dopplersche Prinzip bieten könnte, da die Linien von der bewegten Sonne infolge ihrer Rotation sich von denen unserer gegen unser Instrument ruhenden Atmosphäre trennen müßten, sind nicht anwendbar: im verwaschenen Aussehen der Banden verschwinden solche feinen Verdoppelungen.

Es wird beim Überblick der angeführten Elemente dem Chemiker auffällig erscheinen, daß unter ihnen die Gruppe der Metalloide fehlt, wenn man einerseits vom Wasserstoff, der mit den Metallen viele Eigenschaften gemein hat, anderseits von dem noch unsicher erkannten Sauerstoff, endlich von Kohlenstoff und Silizium absieht. Dessenungeachtet kann hieraus nicht auf das Fehlen dieser Stoffe in der Sonne und selbst innerhalb der direkt unserer spektroskopischen Durchforschung zugänglichen Hülle geschlossen werden. Es zeigt sich nämlich, daß aus einem Gemenge von Metalldämpfen und solchen der Metalloide das Spektrum der letzteren stets von dem der ersteren überstrahlt wird und deshalb gar nicht zum Vorschein kommt. Bringt man beispielsweise ein Stück sogenannten Schwefelkies im elektrischen Flammenbogen zum Verdampfen, so wird das darin enthaltene Spektrum des Eisens sofort kräftig hervorleuchten, und wenn das Stück durch Kupfer in geringen Spuren

verunreinigt war, erkennt man auch dieses augenblicklich im Spektroskop. Vom Spektrum des Schwefels aber, der in weit größeren Mengen in dem Mineral enthalten ist als der metallische Bestandteil, wird man nur Spuren entdecken. Hier hat man es noch mit großen Unvollkommenheiten der spektralanalytischen Forschungsmethode zu tun. Wir haben also zunächst zu bemerken, daß das Vorhandensein von Sauerstoff, Stickstoff, Chlor, Brom, Jod, Fluor, Schwefel, Selen, Tellur, Phosphor, Arsen, Bor auf der Sonne möglich ist, obgleich wir keine diesen Stoffen angehörige Linien im Spektrum entdeckt haben. Sieht man von diesen Elementen und wenigen anderen ab, die auf der Erde außerordentlich selten sind und sich deshalb wohl auch auf der Sonne vor dem menschlichen Forscherblick verstecken dürften, so bleiben in der Reihe der uns bekannten Elemente als unentdeckt auf der Sonne nur noch übrig: Antimon, Gold, Platin, Quecksilber und Wismut.

Das sind besonders schwere Stoffe. Es ist von vornherein begreiflich, daß schwere Gase (denn alle diese Stoffe sind nur in Gasform auf der Sonne zu denken) auch die untersten Regionen einer aus einem Gemisch bestehenden Atmosphäre einnehmen müssen. Wenn also sonst keine schweren Gase spektroskopisch in der äußeren Hülle der Sonne nachgewiesen sind, so wird auch das Fehlen der eben angeführten metallischen Dämpfe nicht auffallen können. In der Liste auf der Sonne vertretener Elemente, wie sie uns Linienkoinzidenzen verraten, finden wir nur Blei und Uran, die ähnlich große Atomgewichte aufweisen. Dieselben sind nach Angström durch je drei Koinzidenzen auf der Sonne wahrscheinlich gemacht. Rowland dagegen findet für Blei nur eine Koinzidenz und stellt Uran überhaupt unter die Elemente, deren Existenz auf der Sonne zweifelhaft ist. Wegen der jedenfalls geringen Zahl übereinstimmender Linien sind Zweifel über das wirkliche Vorhandensein auch des Bleies erlaubt; es ist indessen nicht unmöglich, daß die Bestimmungen der Gasdichte für diese Stoffe nicht zutreffen, und daß ihre Gase sich als viel leichter herausstellen, als man aus theoretischen Gründen anzunehmen hat.

Wir können uns hier nicht weiter in dieses interessante Gebiet der Atomtheorie vertiefen und wollen nur andeuten, daß die spezifischen Gewichte der Stoffe im festen Zustand in anderen Verhältnissen zueinander stehen können als diejenigen ihrer Gase. Wenn ein Körper noch einmal so schwer ist als ein anderer, kann doch das Gas beider gleiche Schwere haben. Wir sind also berechtigt, ein doppeltes Fragezeichen in der Liste der auf der Sonne vorhandenen Gase bei Blei und Uran zu machen, und kommen zu dem Schlusse, daß die Gase der schweren Stoffe, resp. Metalle in der Photosphäre der Sonne nicht vorkommen. Von den Stoffen, die spezifisch leichte Gase besitzen, fallen nur Kupfer, Silber und Zinn durch ihre Abwesenheit auf. Wir sind also bei dem unvollkommenen Zustand unserer spektroskopischen Forschungsresultate berechtigt, anzunehmen, *daß eine wesentliche Verschiedenheit der chemischen Zusammensetzung der Sonne von der unserer Erde nicht vorhanden ist.*

Freilich bleibt noch eine ungemein große Zahl von Fraunhoferschen Linien im Sonnenspektrum gänzlich unerklärt. Sie können Stoffen angehören, die auf der Erde überhaupt nicht vorkommen; aber dies *muß* nicht der Fall sein. Alle Stoffe verändern ihr Spektrum unter veränderten physischen Umständen, und namentlich wird das Spektrum in den meisten Fällen immer reicher an Linien, unter je größerer Hitze, d. h. unter je intensiverem Leuchten wir den zugehörigen Stoff beobachten. Viele Linien im Sonnenspektrum können deshalb bekannten Stoffen angehören, ohne daß wir es auf der Erde nachweisen können, weil



wir nicht imstande sind, die Stoffe unter ähnliche Bedingungen zu bringen, wie sie auf der Sonne zweifellos vorhanden sind. Allerdings zeigt die Erfahrung im allgemeinen, daß die Linien bei veränderter Gesamtkraft ihren Intensitätsgrad untereinander nicht oder nur unwesentlich ändern: wenn eine Linie eines Stoffes unter gewissen Umständen doppelt so stark ist wie eine andere desselben Stoffes, so bleibt sie es beständig bei noch so gesteigerter Lichtmenge des gesamten Spektrums. Daher kommt es, daß manche Linien erst bei großer Lichtstärke überhaupt sichtbar werden. Fände man also im Sonnenspektrum sehr kräftige Linien, die mit denen irdischer Stoffe nicht identifiziert werden können, so dürfte man mit großer Wahrscheinlichkeit schließen, daß sie wirklich einem auf der Erde nicht vorkommenden Element angehören. Ein solcher Fall ist bis jetzt unter den Fraunhoferschen Absorptionslinien noch nicht nachgewiesen worden, wohl aber bei einem System von hellen Linien, dem wir nachher eine besondere Betrachtung widmen werden.

Das Spektroskop hat uns also zunächst bewiesen, daß die oberste Schicht der Photosphäre, in der die Wolkenballen der Sonnengranulation schweben, aus einem Gemisch von metallischen Dämpfen besteht, in denen die uns bekannten schwersten Stoffe ausgeschlossen sind.

Von den weißstrahlenden Wolken dieser photosphärischen Schicht, d. h. ihrer Granulation, geht der hauptsächlichste Teil des Sonnenlichtes aus; über ihr erst wird der Teil ihres Lichtes zurückgehalten, der in dem ursprünglich kontinuierlichen Spektrum an den Stellen der Fraunhoferschen Linien ausgelöscht erscheint. Über die chemische Beschaffenheit der Stoffe, von denen jenes ganz weiße Licht ausgeht, welches das kontinuierliche Spektrum erzeugt, vermag letzteres bekanntlich nichts mehr auszusagen. Wohl aber erlaubt es Schlüsse über den physischen Zustand der Photosphärenschichten. Wie wir früher gesehen haben, kann ein ununterbrochenes Farbenband unter gewöhnlichen Verhältnissen nur von einem festen oder flüssigen weißglühenden Körper ausgehen. Bei der Sonne aber liegen die Verhältnisse niemals einfach; alles ist dort gegenüber irdischen Verhältnissen abnorm. Wir sehen im Laboratorium, daß die von Gasen erzeugten hellen Linien sich mehr und mehr ausbreiten, unter je höheren Druck die Gase gebracht werden, so daß sie schließlich ein kontinuierliches Spektrum bilden, auch wenn die große Hitze, unter der sie sich befinden, ihre Verflüssigung nicht zuläßt. Ein solcher Zustand ist bei der ungeheuren Sonne wohl denkbar. Wir können somit aus der spektroskopischen Untersuchung nichts Sicheres über den Aggregatzustand der tieferen Schichten des Sonnenballes ableiten.

Scheiner bemerkt jedoch ganz richtig, daß es sich hier um scharf von den Wolken der Photosphäre getrennte Schichten handeln müsse, die wahrscheinlich chemisch von den oberen verschieden sind. Verstärkte sich nämlich, wie in unserer Atmosphäre, der Druck allmählich von oben nach unten, bis zu der Größe, die vom Gas ein kontinuierliches Spektrum ausstrahlen läßt, so müßten auch die Linien der Photosphäre diesen Charakter des allmählichen Überganges zeigen, d. h. zu Bändern werden. Da sie jedoch scharf begrenzt erscheinen, muß die darunter befindliche eigentlich leuchtende Schicht sich auch scharf von den absorbierenden metallischen Wolken abgrenzen. Ist sie fest oder flüssig, so ist jene Bedingung der scharfen Abgrenzung von selbst erfüllt, bei gasförmigem Zustand aber kann eine solche Abgrenzung nur stattfinden, wenn die untere Schicht ein von der oberen merklich verschiedenes spezifisches Gewicht hat, was eben nur bei materieller Verschiedenheit möglich ist. Ein flüssiger oder gar fester Zustand dieser verhältnismäßig noch sehr hoch gelegenen Schichten

des glühenden Sonnenballes ist indes kaum wahrscheinlich, wenn auch, wie wir weiter unten sehen werden, nach neueren Untersuchungen nicht unmöglich. Wir werden sehen, daß sich über der Photosphäre noch zwei, resp. drei andere, ebenso bestimmt abgegrenzte Gasschichten durch das Spektroskop unterscheiden lassen.

Wichtige Aufschlüsse konnte man vielleicht auch über jene tieferen, unserer direkten Beobachtung nicht mehr zugänglichen Schichten durch die spektroskopische Untersuchung der Sonnenflecke erwarten. Man hatte bisher vielfach die Meinung vertreten, die Sonnenflecke seien Vertiefungen, Öffnungen in der photosphärischen Schicht, durch die man in tiefere Regionen sehen könne. Einige Forscher, namentlich Secchi, glaubten wirklich bemerkt zu haben, daß Flecke am Sonnenrand eine Einsenkung verursachten. Dies ist jedoch später niemals mit Sicherheit wieder gesehen worden, und es ist begreiflich, daß man sich hier leicht einer Täuschung hingeben kann, weil man geneigt ist, die dunklere Stelle der Sonnenscheibe am Rande für eine wirkliche Einschnürung zu halten.

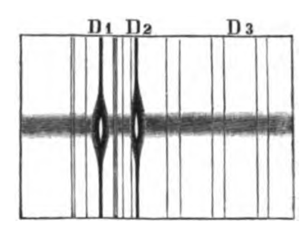
Die spektroskopischen Beobachtungen ergeben nun eine sehr wesentliche Verbreiterung der Fraunhoferschen Linien, sobald der Spalt sich über einem Sonnenfleck befindet. Das bedeutet eine wesentlich stärkere Absorption des aus tieferen Schichten kommenden Lichtes an diesen dunkleren Stellen. Ferner erscheint das kontinuierliche Spektrum im ganzen abgeschwächt. Wäre letzteres allein der Fall, so hätte man es hier nur mit einer allgemeinen Verminderung der Leuchtkraft zu tun, die man sich etwa so entstanden denken könnte, daß auf der tieferen, flüssig gedachten Schicht unter der Photosphäre Schlacken schwimmen, die einem Erkaltungsprozeß in diesen Gebieten ihren Ursprung verdankten. In dieser Weise hatte Zöllner die Entstehung der Sonnenflecke zu erklären versucht. Das Spektroskop läßt zwar die Möglichkeit solcher Schlacken zu, aber es muß jedenfalls noch etwas dazu kommen, wodurch die größere Absorption erklärt wird. Hierfür können wieder zwei Annahmen gemacht werden. Entweder muß das Licht an diesen Stellen eine größere Atmosphärenschicht durchdringen, oder die Gase in den Sonnenflecken müssen wesentlich dichter und kälter sein, damit sie so viel kräftiger absorbieren können. Eine größere Dichte ist unwahrscheinlich. Man hat vielmehr alle Ursache, anzunehmen, daß die riesenhaften Flammen, die am Sonnenrande erscheinen, zuweilen aus den Sonnenflecken hervorbrechen. Oft hat man mitten in einer verbreiterten Fleckenlinie, z. B. des Natriums (s. die Abbildung, S. 303), eine helle Partie gesehen, die nur vermittelst solch eines leuchtenden Ausbruchs gedeutet werden kann. Auch Linienverschiebungen weisen auf eine lebhaft aufsteigende Bewegung der Materie in den Flecken hin, deren Ursache nur eine geringere Dichtigkeit der hier befindlichen Stoffe sein kann. Es bleibt also kaum etwas anderes übrig, als die S o n n e n f l e c k e f ü r Ö f f n u n g e n i n d e r p h o t o s p h ä r i s c h e n S c h i c h t anzusehen, durch die man in größere Tiefen des Sonnenballes blickt. Damit ist indes noch nicht gesagt, daß sie wirklich im Profil als Vertiefungen erscheinen würden; sie können im Gegenteil Erhöhungen sein, durch Gase gebildet, die hier über das Niveau der Photosphäre hinausgetrieben werden und auf diese Weise die größere Absorption bewirken.

Die Umkehrung der dunkeln Linien in helle tritt namentlich für die des Wasserstoffes auf, den wir sogleich als wesentlichsten Bestandteil der Protuberanzen kennen lernen werden. Namentlich wenn über den Kernschatten eines Fleckes eine leuchtende Brücke zieht, erscheinen plötzlich die hellen Linien, und Tacchini ist es bei solcher Gelegenheit einmal geglückt, bei Einrichtung seines Spektroskopes in derselben Weise wie zur Beobachtung der



Protuberanzen am Sonnenrande (vgl. S. 286), mitten auf der Sonne eine Flamme zu sehen, die aus dem Fleck hervorbrach.

Nicht alle Linien des Sonnenspektrums werden in den Flecken verbreitert und auch nicht sämtlich in gleicher Weise. Einige Linien, die unter gewöhnlichen Umständen sehr unbedeutend sind, werden oft in einem Fleck zu ganz auffälligen Objekten, während andere kaum verändert erscheinen. Hauptsächlich sind die Eisenlinien verstärkt; unter 116 Linien, die Vogel bei einem Fleck am 24. und 25. März 1873 genau ausmaß, befanden sich 74 Eisenlinien und nur einige dem Nickel, Kobalt, Kalzium, Magnesium, Mangan und Titan angehörige. Zwei Linien schienen vom Kupfer herzurühren. Es treten also keine neuen Elemente in den Flecken auf. Sehr merkwürdig ist aber die einseitige Verbreiterung gewisser Linien, die dadurch nur nach dem einen Ende des Spektrums hin verwaschen erscheinen. Eine ähnliche Wahrnehmung macht man bei Versuchen im Laboratorium nur, wenn man es mit Verbindungen von Elementen, namentlich der Metalle, mit jenen Metalloiden (z. B. Sauerstoff) zu tun hat, deren Vorhandensein auf der Sonne durch das Spektroskop direkt nicht nachzuweisen war. Während also sonst auf dem glühenden Zentralkörper noch alle Elemente im Zustande der Dissoziation, getrennt und unfähig zu chemischer Einwirkung aufeinander, angetroffen werden, scheint es in den Sonnenflecken wenigstens zeitweilig zu chemischen Verbindungen zu kommen.



D-Linien im Spektrum eines Sonnenfleckes: Veränderungen der Absorptionslinien über einem Sonnenfleck. Vgl. Text, S. 302.

Das **Spektrum der Fackeln** unterscheidet sich von dem der übrigen Sonnenoberfläche nur durch die größere Intensität des kontinuierlichen Farbenbandes, zeigt also keine hellen, auch keine neuen dunkeln Linien. Entweder leuchten diese Stellen wirklich stärker, oder sie befinden sich in einer höheren Lage, so daß die von ihnen ausgehenden Strahlen nur einen kleineren Teil der absorbierenden Schicht zu durchdringen haben. Beide Ursachen können auch zugleich wirken. Daß die Fackeln Auftreibungen der photosphärischen Schicht sind, geht übrigens noch aus anderen Wahrnehmungen hervor. Namentlich zeigen dies auch die spektroheliographischen Aufnahmen der Yerkes-Sternwarte, die wir auf Seite 275 und 284 abgebildet haben. Sie sind bekanntlich im Lichte einer Kalziumlinie hergestellt. Das ganze Sonnenbild ist durch die H_2-Linie des Sonnenspektrums, mit einer Wellenlänge von 396,86, der Fleck durch die H_1-Linie bei 392,2 erzeugt. Man kann durch solche Einstellung auf verschiedene Linien Aufnahmen des Zustandes der Sonnenatmosphäre in ihren verschiedenen Höhen machen und findet, daß diese sogenannten **Kalzium-Floculae**, d. h. diese hellen Wolken, die in diesen Aufnahmen die ganze Sonnenoberfläche überziehen, höher liegen als die übrigen Photosphärenschichten. Wir haben es also hier mit Wolken aus Kalziumdampf zu tun, der nur einen Teil der Fackeln bildet, da diese sich auch noch aus anderen Substanzen zusammensetzen. Es ist auffällig, daß gerade die oberen Schichten der Sonnenatmosphäre mit Dämpfen des verhältnismäßig schweren Kalziums zusammen mit dem leichtesten Gase, dem Wasserstoff, angefüllt sind. Man hat vermutet, daß das Kalzium sich vielleicht als eine Verbindung herausstellen könne, die nur bei sehr hohen Hitzegraden zerfällt, und daß alsdann einer der Bestandteile, der ein sehr leichtes Gas sein müßte, das Kalziumspektrum erzeugt.

Daß die **Protuberanzen** sich durch **helle** Linien zu erkennen geben, wurde schon

angeführt. Es scheint, daß in seltenen Fällen sämtliche dunkeln Linien des Sonnenspektrums momentweise in den Protuberanzen hell auftreten können. Charakteristisch und stets in ihnen zu finden sind aber nur die Wasserstofflinien und zwei andere: die eine bei 587,6, ganz in der Nähe der doppelten Natriumlinie und deshalb mit D_3 bezeichnet, die andere bei 531,7 $\mu\mu$. Die erstere dieser Linien kommt als dunkle, Fraunhofersche Linie im Spektrum der Photosphäre nicht vor, und beide sind bis vor kurzem mit Linien irdischer Stoffe nicht zu identifizieren gewesen. Infolge der fast immer sehr großen Helligkeit namentlich der D_3-Linie hielt man es von vornherein für höchst wahrscheinlich, daß man es hier mit einem Stoffe zu tun habe, der nur auf der Sonne vorkommt, also mit einem neuen, durch das Spektroskop aus Sonnenentfernung entdeckten Element. Man nannte dasselbe Helium.

Man konnte schon aus der spektroskopischen Beobachtung allein etwas über das spezifische Gewicht dieses fernen fremden Stoffes vermuten. Die hellen Linien der Protuberanzen haben nämlich die Eigentümlichkeit, sich in dem für ihre Beobachtung eingerichteten Instrument gegen den Sonnenrand hin zuzuspitzen, zwar nicht gerade in den Flammen selbst, aber in der gleich näher zu besprechenden Schicht, die über der Photosphäre lagert und aus den Stoffen der Protuberanzen gebildet ist. Diese Zuspitzung der Linien ist nur durch eine Zunahme der Menge der betreffenden Stoffe vom Sonnenrande hinweg zu erklären. Wir nehmen an, man habe den Spalt des Spektroskops in diesem Falle senkrecht zum Sonnenrande, also in der Richtung des Radius gestellt. Wenn die Linien nach obenhin an Intensität zunehmen, so beweist dies, daß eben immer mehr Strahlen der betreffenden Gattung zu uns gelangen, je weiter wir uns vom Rand entfernen. Nun geht die Heliumlinie mit dieser Zuspitzung etwas tiefer herab als die Wasserstofflinien. Sind deshalb die Stoffe in der Sonnenumhüllung im großen und ganzen nach ihrer Schwere geordnet, was kaum anders denkbar ist, so muß das Helium etwas schwerer als Wasserstoff sein, aber doch zu den leichtesten Elementen gehören, weil es die obersten Schichten der Sonne einnimmt.

Alle diese Voraussagungen, die sich allein auf die Lichtanalyse stützen konnten, sind in der glänzendsten Weise bestätigt worden, nachdem Ramsay in einem seltenen, von Nordenskiöld im hohen Norden aufgefundenen Mineral, Cleveit genannt, dieses nämliche Helium 1895 wirklich entdeckte. Es wurde in dem Mineral gleichzeitig mit dem ebenfalls neu entdeckten Argon in verhältnismäßig großer Menge nachgewiesen und zeigte neben der berühmten D_3-Linie noch andere, schwächere. Das neue Gas erwies sich in der Tat schwerer als Wasserstoff, aber bei weitem leichter als alle anderen bekannten Elemente. Diese Bestätigung des Heliums durch den Chemiker muß als der wunderbarste Triumph der ohnehin so wunderreichen Kunst der Analyse des Lichtes durch das Prisma gelten. Seitdem ist das Helium, immer mit Argon gemischt, in anderen seltenen Mineralien, in Mineralquellen, selbst (von Kayser) in der Luft unserer Atmosphäre, jedoch stets nur in sehr geringen Mengen, und endlich, wie an anderer Stelle schon erwähnt, in Meteoriten nachgewiesen worden.

Ob auch das Argon auf der Sonne vorkommt, ist eine offene Frage. Deslandres macht darauf aufmerksam, daß das aus dem Cleveit gewonnene Gas eine Linie bei 706,55 zeigt, die dem Argon zugeschrieben wird und auch in der äußeren Sonnenumhüllung auftritt, die wir sogleich als Chromosphäre kennen lernen werden.

Sehr leicht ist durch das Spektroskop festzustellen, daß über der Photosphäre eine verhältnismäßig dünne Schicht von denselben Gasen ruht, die in den Protuberanzen gelegentlich

sehr viel weiter hinausgeschleudert werden. Diese Chromosphäre ist bei Sonnenfinsternissen auch für die direkte Beobachtung zugänglich und bildet dann einen leuchtend rosenfarbenen Rand, der dieser Schicht ihren Namen gegeben hat. Sie besteht also zum größten Teil aus Wasserstoff, Helium und Koronium.

Die Chromosphäre ruht aber nicht direkt auf den Wolken der Photosphäre; es muß sich vielmehr zwischen beiden noch eine Schicht befinden, in der die Fraunhoferschen Linien durch die Absorption in dieser Schicht entstehen. Man hat Gasschicht und Linien, wenigstens erstere durch letztere in der Tat bei Sonnenfinsternissen wahrnehmen können, indem man die sämtlichen Fraunhoferschen Linien dann für einen Augenblick hell aufleuchten sah (sogenanntes Flashspektrum). Dies kann offenbar nur so lange geschehen, wie die eigentliche leuchtende Photosphärenschicht bereits vom Monde bedeckt ist, nicht aber die absorbierende. Die strahlenden metallischen Wolken der Photosphäre nehmen also ebensowenig wie unsere Wolken die obersten Regionen dieser Atmosphäre ein, sondern es befindet sich zwischen ihren höchsten Lagen und der obersten Grenze der Photosphäre noch ein Raum, der alle die Stoffe enthält, welche die Fraunhoferschen Linien nachweisen, und der etwa eine Höhe von 900 km hat. Hierüber beginnt dann erst die rosenfarbene Wasserstoffatmosphäre, die bedeutend, vielleicht zwei- bis dreimal, höher ist.

Hiermit ist aber die Reihe der Schichten, aus denen die Sonnenumhüllung gebildet wird, noch nicht abgeschlossen. Wir wissen bereits, daß sich noch weit über die Regionen, in welche die höchsten Protuberanzen emporschlagen, die Ausläufer der geheimnisvollen Korona erheben, die bei Verfinsterungen der Sonne sie wie mit einem Heiligenschein umgeben. Das Spektrum der Korona besteht neben einem kontinuierlichen Farbenbande hauptsächlich aus der bereits mehrfach erwähnten Linie im Grün. Wenn bei radial gestelltem Spalt die zugespitzten Linien erscheinen, so reicht stets die Koronalinie, auch außerhalb der Sonnenfinsternisse, am weitesten hinauf. Das unbekannte Koronium, das jene Linie im Grün erzeugt, muß demnach ein noch geringeres Atomgewicht haben als der Wasserstoff, der leichteste der uns bekannten Körper. Vielleicht kommt ebendeshalb dieser Stoff in den unteren Schichten unserer Atmosphäre so wenig vor wie in denen der Sonnenhülle. Es wäre dagegen nicht undenkbar, daß auch die Erde eine Korona besäße, und daß die Luftschiffer gelegentlich Spuren davon aus den höchsten Höhen über uns herabbringen. Das kontinuierliche Spektrum der Korona muß von festen Partikeln herrühren, die in der Nähe der Sonne umherschwärmen und das Sonnenlicht reflektieren. Dies bestätigt auch das Polariskop. Daß dieses Koronium vielleicht in den Schweifen gewisser Kometen vorkommt, haben wir schon Seite 266 erwähnt.

Nachdem wir so die hauptsächlichsten über die Sonne gesammelten Beobachtungstatsachen angeführt haben, vereinigen wir sie zu einem verständlichen Gesamtbilde über die physische Beschaffenheit und die Vorgänge auf der Sonne. Es soll eine Theorie der Sonne aufgestellt werden. Erst seit neuerer Zeit dürfen wir die Sonnenforschung für genügend fortgeschritten ansehen, um aus der großen Zahl von Ansichten über die Vorgänge auf unserem Zentralgestirn, die in den letzten Jahrzehnten ausgesprochen sind, ein einigermaßen anschauliches Gesamtbild zusammenzustellen, das sich wissenschaftlich begründen läßt.

Wenn der ältere Herschel noch an einen festen Kern der Sonne glaubte, auf dem sogar lebende Wesen von unserer Art vorhanden sein könnten, so weiß man heute, daß dieser

Kern selbst nicht einmal feuerflüssig sein kann. Es zeigt sich nämlich, soweit man die Verhältnisse in unseren Laboratorien verfolgen kann, daß kein gasförmiger Körper sich in den flüssigen Zustand versetzen läßt, wenn er sich über einer gewissen kritischen Temperatur befindet. Zwar wird das Flüssigwerden eines Gases durch erhöhten Druck beschleunigt, aber der Druck erhöht zugleich die Temperatur der Masse; es entsteht dadurch eine bestimmte Grenze, über die hinaus man einen Körper noch so sehr zusammenpressen kann, ohne daß er die charakteristischen Eigenschaften eines Gases verliert. Auch bei der niedrigsten für die Sonne annehmbaren Temperatur müssen alle uns bekannten Stoffe gasförmig bleiben. Nun herrscht im Inneren der Sonne ein unvorstellbar mächtiger Druck der überlagernden Schichten. Nach Ekholm, der nach den Prinzipien der mechanischen Wärmetheorie diese Verhältnisse rechnerisch untersuchte, muß im Sonnenmittelpunkte ein Druck von nahezu 1400 Millionen Atmosphären vorhanden sein, und die Temperatur muß dort, bei Voraussetzung von rund 7000 Grad an der Oberfläche, mindestens 4 Millionen Zentigrad betragen.

Aus diesem ungeheuern Wärmevorrat strahlt die Sonne beständig in den Weltraum hinaus. Die äußeren Schichten müssen sich dabei abkühlen, aber aus dem Inneren wird die verlorene Wärme stets wieder ersetzt. Dadurch entstehen die Vorgänge, die wir auf der Oberfläche wahrnehmen. Es bilden sich zunächst Abkühlungsprodukte, unseren Wolken ähnlich: die Photosphäre, die uns als Granulation erscheint. Aus diesen weißglühenden Wolken von Metalldämpfen regnet es herab, sobald der Abkühlungsprozeß weiter fortschreitet. Sobald aber dieser feurige Regen in tiefere Regionen gelangt, in denen eine höhere Temperatur herrscht, wird er wieder in Metalldampf aufgelöst. Ganz ebenso ist der Vorgang in unseren Wolken, aus denen es nicht bis auf die Erdoberfläche herabregnet. In Wirklichkeit regnet es aus jeder Wolke; sie gibt, wie unverändert sie auch scheinen mag, beständig an ihrer unteren Begrenzung Feuchtigkeit in kleinen Tröpfchen an die Luft ab und ersetzt sie oben wieder durch Nebelbildung. Ist die unter der Wolke befindliche Luftschicht noch imstande, Feuchtigkeit aufzunehmen, d. h. aufzulösen, dann bleibt sie durchsichtig; die Tröpfchen verflüchtigen sich wieder, es kann nicht bis zur Erdoberfläche herab regnen. So wären also auch die Verhältnisse auf der Sonne, und der glühende Regen aus den Photosphärenwolken wäre als das Medium anzusehen, von dem das kontinuierliche Spektrum herrührt.

Hat man einmal die Analogie mit den Verhältnissen der irdischen Meteorologie aufgestellt, so fällt es nicht schwer, auch noch andere Vorgänge in der Sonnenatmosphäre mit denen in der unsrigen zu vergleichen. Die Sonnenflecke werden zu riesigen W i r b e l s t ü r m e n, in deren Zentrum dunkle Wolken wild zerrissen werden. Da diese Vorgänge von aufsteigenden heißen Luftströmen aus dem Inneren hervorgerufen wurden, so verstehen wir die Bildung von Fackeln, die wir als heißere, aus dem Inneren kommende Sonnenluft anzusehen haben, die die Wolkenschicht der Photosphäre nur aufgetrieben und noch leuchtender gemacht hat, ohne sie jedoch zu durchbrechen. Dies geschieht erst durch die Protuberanzen, die aus den Flecken aufsteigen. Wenn dies auch möglicherweise nicht mit der ungeheuern Geschwindigkeit geschieht, die wir an dem Phänomen wahrnehmen, so müssen doch jedenfalls diese Zustände, durch die jene abnormen Lichtbrechungen, elektrischen Entladungen oder Explosionen hervorgerufen werden, die diese unbegreiflichen Geschwindigkeiten vorgetäuscht haben mögen, ihren Ursprung in Ausströmungen der Flecken gehabt haben.

Durch die Bildung jener Wolkenschicht aus Abkühlungsprodukten wird die Abkühlung selbst

vermindert, ebenso wie die Wolken in unserer Atmosphäre den durch Ausstrahlungen in den Weltraum bewirkten Wärmeverlust der letzteren vermindern. Die aus dem Inneren der Sonne zuströmende Wärme wird nun aber bald wieder so groß, daß sie allmählich jene „Schutzschicht" auflöst. Nun kann die Ausstrahlung wieder vorherrschen. Wir sehen, daß ein periodisches Auf- und Niedersteigen der jeweilig heißesten Schicht der Sonnenatmosphäre stattfindet, durch das Halm die Fleckenperiode erklärt. Die theoretische Behandlung dieser Strahlungsvorgänge ergab eine merkwürdige Übereinstimmung mit den beobachteten Verhältnissen. So zeigt die Rechnung, daß die Zeit vom ersten Auftreten der neuen Fleckenperiode bis zum Maximum kürzer sein muß als von hier bis zum Minimum zurück, und daß das Hervorbrechen einer neuen Fleckenperiode unabhängig von der vorangehenden sein muß. Letztere verläuft sich in den oberen Schichten der äquatorialen Atmosphäre, die erstere bricht in höheren Breiten aus dem Sonneninneren hervor. Die Rechnung ergab auch noch eine andere Eigentümlichkeit der Fleckenperiode, die bisher der Beobachtung entgangen war. Je stärker nämlich die Fleckenbildung einsetzt, um so früher tritt das Maximum ein. Bei größerer Kraftentwickelung wird eben der Ausgleich auch um so schneller erreicht. Bei allen diesen Übereinstimmungen der Halmschen Theorie mit den Tatsachen der Beobachtung darf man wohl annehmen, daß sie der Wahrheit nahekommt. Jedenfalls hat sie den Vorzug, durch irdische Analogien verständlich zu sein. Im allgemeinen sehen wir ja, daß sich in der Welt alles wiederholt, daß alles, von den kleinsten bis zu den größten Geschehnissen, in Parallelen verläuft. Eine Atmosphäre aus metallischen Dämpfen von einer unvorstellbar großen Temperatur k a n n sich sehr wohl in den hauptsächlichsten Zügen ebenso verhalten wie unsere wasserdampferfüllte Lufthülle.

Vielleicht auch haben die periodischen Ausbrüche der Sonnentätigkeit eine gewisse Ähnlichkeit mit den Geisererscheinungen. Es wäre nicht unmöglich, daß jene „Schutzschicht" doch bereits zeitweilig in flüssigem Zustande ist, eine dünne Haut wie eine Seifenblase bildend, die eine verhältnismäßig kurze Zeit lang in einem labilen Gleichgewichte zu verharren vermag. Diese Schicht würde sich unter dem vorhandenen Drucke wie eine überhitzte Flüssigkeit verhalten, die, bei der beständigen Wärmezufuhr von unten, dann plötzlich, und zwar in einer gewissen Tiefe zuerst, zu sieden beginnt. Die Schicht wird zuerst an einzelnen Stellen, wo sie den geringsten Widerstand bot, durchbrochen und von sich entwickelnden Gasen eruptiv emporgeschleudert, bis der Gleichgewichtszustand wiederhergestellt ist. Die Öffnungen schließen sich wieder, um aufs neue zu einer Überhitzung Anlaß zu geben.

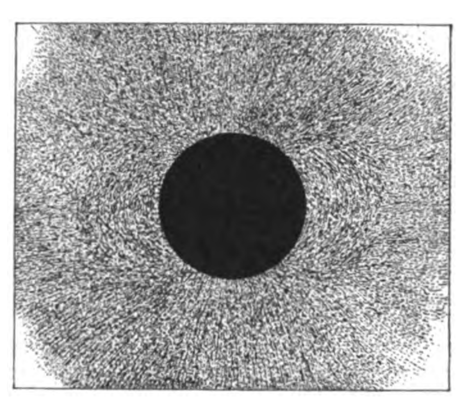
Sehr eigentümliche theoretisch-optische Betrachtungen hat August Schmidt in Stuttgart angestellt, die wir hier kurz erwähnen müssen. Wir wissen, daß ein Lichtstrahl an der Grenze zweier verschieden dichter Medien stets gebrochen wird; die Wirkung der Fernrohre verdankt diesem Gesetz ihr Dasein. Es läßt auch die sogenannte atmosphärische Refraktion entstehen, durch welche die Sonne scheinbar schon über unseren Horizont gehoben wird, während sie sich noch darunter befindet. Wegen der je nach ihrer Höhenlage verschieden dichten Luftschichten, die der Lichtstrahl nacheinander zu durchdringen hat, wird er in unserer Atmosphäre allmählich gekrümmt; man sieht in der Tat auf größere Distanzen sozusagen etwas um die Ecke. Diese Krümmung ist nun für die Erde viel geringer als die ihrer Oberfläche. Je größer aber ein Körper ist, desto weniger ist natürlich auch seine Oberfläche gekrümmt. Bei gleichen atmosphärischen Verhältnissen ändert sich jedoch die Krümmung des Lichtstrahles nicht. Man kann sich also wohl einen Fall denken, für den beide

Krümmungen genau gleich sind. Der Strahl bleibt dann immer gleichweit von der Oberfläche der Kugel entfernt. Stehen wir also auf einem solchen Himmelskörper und sehen geradeaus, so führt uns die Sehlinie ganz um den Weltkörper herum, bis sie hinter uns unseren Rücken trifft, d. h. wir sehen vor uns unseren eigenen Rücken, allerdings aus der entsprechend großen Entfernung. Der Lichtstrahl läuft beständig weiter um den Weltkörper herum, ohne ihn jemals zu verlassen.

Es konnte rechnerisch festgelegt werden, daß unter gewissen durchaus annehmbaren Bedingungen über die Zunahme der Dichtigkeit der Gasschichten nach dem Inneren einer Gaskugel gleich der der Sonne Ähnliches auch mit einer Anzahl anders gerichteter Strahlen geschehen kann, die also, obgleich zuerst gegen den Weltraum gerichtet, den Weltkörper niemals oder erst nach einer Anzahl von Umläufen an einer ganz anderen Stelle verlassen. Die Theorie zeigt dann ferner, daß gewisse Schichten besonders viele solcher zirkularen Strahlen aus dem Inneren auffangen und festhalten müssen. An solchen Stellen schwebende wolkenartige Gebilde würden dann sehr intensiv beleuchtet werden. Es entsteht hier nur eine optische, keine physische Abgrenzung. Erfüllt also der Sonnengasball die optischen Bedingungen dieser Theorie, wogegen keine Tatsache der Beobachtung spricht, so kann er sich ohne irgendwelche tatsächlich vorhandene Absonderung von verschiedenen Schichten (Photosphäre, Chromosphäre, Korona) ganz allmählich und gleichmäßig in den Weltraum verlieren und dennoch die scharfe optische Abgrenzung zeigen, die wir an ihm wahrnehmen. Der Durchmesser der Sonne, wie wir ihn messen, und auf den wir viele wichtige Schlüsse bauen, wäre also nichts weiter als eine optische Täuschung. Aber noch mehr. Wir sagten vorhin, daß viele Strahlen aus dem Inneren des Sonnenkörpers an ganz anderen Stellen austreten, als wo sie entstanden sind. Die Sonnenflecke, die Protuberanzen und alle die anderen vielartigen Erscheinungen, die wir hier überblickt haben, können demnach an ganz anderen Stellen, namentlich auch in beträchtlicher Tiefe im Sonnenkörper vor sich gehen, während wir sie an der Oberfläche erblicken. Immerhin müssen aber diese Phänomene selbst auf physischen Verschiedenheiten der betreffenden Gebiete des Sonnenballes beruhen. Die Schmidtsche Theorie kann ihr Vorhandensein selbst nicht in Abrede stellen, wie man wohl früher geglaubt hatte. Auch ist es kaum denkbar, daß die Bilder so scharf begrenzt erscheinender und mit so vielen Einzelheiten übersäter Objekte wie die Sonnenflecke durch solche optische Vorgänge in sehr ungleich dichten und offenbar lebhaft durcheinander wirbelnden Gasschichten weit getragen werden können; es müßten dadurch notwendig stark verwaschene Bilder entstehen.

Ebenso unzweifelhaft ist auch die Sonnenkorona ein materielles Etwas, das aber von den darunter befindlichen Schichten der Sonnenatmosphäre wesentlich verschieden sein muß. Es ist recht wahrscheinlich, daß sich die Eigentümlichkeiten ihrer Erscheinung aus radioaktiven Vorgängen erklären. Wir können heute kaum noch daran zweifeln, daß das Innere unserer Erde radioaktive Substanzen in nicht geringer Menge enthält. Diese schleudern bekanntlich allerkleinste Materieteilchen mit Lichtgeschwindigkeit aus, die elektrisch geladen sind. Diese „Emanation" des Radiums besteht zum Teil, wie Ramsay nachgewiesen hat, aus dem leichten Heliumgas, das sich in der Chromosphäre der Sonne in großen Mengen vorfindet. Vielleicht ist auch das noch leichtere Koronium, das wir auf der Erde nicht antreffen, weil es durch ihre Schwerkraft nicht mehr festgehalten werden kann, ein Zerfallprodukt des Radiums. Dann müßten sich feine Partikelchen, wie namentlich

der Eisenstaub der Meteoriten, der unser System überall erfüllt, so ordnen, wie wir es an den feinen Polarstrahlen der Korona sehen. Wir können diese Anordnung mit einem kugelförmigen Magneten erzeugen, den wir mit Eisenfeilspänen umgeben. Unsere Abbildung zeigt dies. Die Verschiedenheit der Koronaform im Fleckenmaximum von der im Minimum (S. 294/5) erklärt sich vielleicht dadurch, daß während der erhöhten Sonnentätigkeit so viel radioaktive Substanz rings um die Sonne ausgebreitet wird, daß dadurch die feinen Polarstrahlen verschleiert werden. Bei den gewaltigen Eruptionen aus den Sonnenflecken müssen dann radioaktive Substanzen aus dem Inneren in das Weltall hinausgeschleudert werden. Trifft solch ein Strahl elektrisierter Korpuskeln die Erdatmosphäre, so müssen Polarlichter auftreten, die auf ähnliche Weise auch künstlich erzeugt werden können, und ebenso notwendig müssen jene Störungen des elektrischen Zustandes der Erdrinde entstehen, die wir Erdströme nennen. Die Polarstrahlen der Korona aber könnte man unter diesem Gesichtspunkte als Polarlichter der Sonne bezeichnen, oder auch, nach unsern auf Seite 266 dargestellten Ansichten, als Kometenschweife, mit denen sich rings unser Tagesgestirn umgibt.



Kraftlinien um einen scheibenförmigen Magneten.

Am Ende unserer Betrachtungen über den ungeheuern Zentralkörper, dem wir und gewiß noch unzählige andere Geschöpfe auf anderen Planeten alle unsere Freuden und Leiden verdanken, müssen wir uns fragen, ob die strahlende Kraft der Allerhalterin nicht einmal erlahmen könne oder gar müsse. Die Erfahrungen geben uns keinen unzweifelhaften Aufschluß hierüber. Die Durchschnittstemperaturen, die seit nahezu einem Jahrhundert um den ganzen Erdball herum gemessen werden, haben sich seither auch nicht um den geringsten nachweisbaren Bruchteil eines Zentigrades geändert. Die allgemeinen Klimaschwankungen, von denen wir auf Seite 293 ff. sprachen, sind, soviel wir ermitteln können, im gegenwärtigen Zeitalter der Erde nur um eine unveränderliche Mittellage pendelnde Erscheinungen.

Es schien aber, als hätte man in den lapidaren Aufzeichnungen unserer Erdrinde, die uns in eine ferne Vergangenheit unseres Planeten blicken lassen, sichere Beweise für ein allmähliches Kälterwerden an der Erdoberfläche gefunden. Reste tropischer Gewächse fand man in Schichten, die hohen Breiten sowohl nördlich wie südlich angehören, und je höher man von diesen Schichten zum Tageslichte hinaufstieg, desto ähnlicher wurden die Überreste von Geschöpfen, die heute in jenen Gebieten leben. Freilich setzte schon vor einigen Jahrzehnten hinter diese Schlüsse die Entdeckung ein Fragezeichen, daß man höhersteigend da auf Spuren einer Eiszeit stieß, wo gegenwärtig eine entschieden höhere Temperatur herrscht: es ist also nachträglich wieder wärmer geworden. In neuerer Zeit hat man sogar erkannt, daß es viele solcher Eiszeiten gab, zwischen denen immer wieder wärmere Zeiten lagen, und man konnte solche geologischen Klimaschwankungen bis in die zweifellos Millionen von Jahren hinter uns liegende Steinkohlenperiode verfolgen, in der Riesenfarne die irdische Landschaft beherrschten, wie sie unsere Tropen längst nicht

mehr sehen. Es läßt sich deshalb nach dem heutigen Stande der noch sehr jungen geologischen Wissenschaft aus dem Tatbestand der Funde nicht nachweisen, ob der klimatische Zustand der gesamten Erde sich fortschreitend verändert hat; es ist sogar, wie wir später noch erkennen werden, möglich, daß innerhalb einer ganzen Reihe von geologischen Zeitaltern nur Verschiebungen der klimatischen Zonen des Erdballs durch eine Veränderung seiner Achsenstellung zur Sonne eintraten. Freilich zeigt die Struktur des granitenen Panzers der Erde, der keinerlei Reste organischer Wesen in sich birgt und die tiefste Lage unter allen Gesteinen einnimmt, daß die Oberfläche unseres Planeten einstmals so heiß gewesen sein muß, daß dieser Granit sich in feurigflüssigem Zustande befand. Hier war es aber offenbar die Erde selbst, die diese Hitzegrade aus sich hervorbrachte. Wenn also wirklich eine allmähliche Abnahme der Temperatur nachzuweisen wäre, abgesehen von den Eiszeitschwankungen, so könnte man die Ursache davon ebensogut in der langsamen Erkaltung der Erde selbst wie in der der Sonne suchen. Die Geologie gibt uns demnach, entgegen früheren, voreiligen Meinungen, keinen sicheren Aufschluß über etwaige Veränderungen der Sonnentemperatur.

Gleichwohl dürfen wir mit Bestimmtheit sagen, daß die ungeheuern Leistungen der Sonnenenergie, von denen wir uns im Eingang dieses Kapitels eine Vorstellung zu machen suchten, den Vorrat an Wärme, die in einem bestimmten Augenblick im Sonnenkörper enthalten sein kann, sehr bald aufgezehrt haben müßte, wenn nicht von irgendeiner Seite her dafür Ersatz geschafft würde. Da wir wenigstens annähernd die Wärmemenge messen konnten, welche die Erde allein von der Sonne empfängt, und demnach auch die Wärmemenge, welche die Sonne in den gesamten Weltraum beständig ausstrahlt (s. S. 273), so ergibt sich, daß unter geringsten Annahmen die Temperatur des ganzen Sonnenkörpers jährlich um etwa 3 Grad abnehmen müßte, wenn sie von einer einmal ihr mitgegebenen Wärmemenge beständig zehrte. Eine solche Abnahme widerspricht aber völlig den Tatsachen der Beobachtung. Würden wir dann weiter annehmen, die Glut könne wohl durch Verbrennung vorhandenen Materials bis zu dessen gänzlichem Verbrauch auf ziemlich gleicher Höhe erhalten werden, so finden wir, daß selbst eine Steinkohlenmenge von der Größe der Sonne nur etwa 25,000 Jahre ausreichen würde, um die Arbeit dieser riesigen Maschine im Zentrum unseres Weltsystems zu leisten. Daß aber die Sonne schon seit ungeheuer viel längerer Zeit besteht und ungeschwächt ihre Wohltaten austeilt, ist über allen Zweifel erhaben.

Es muß also ein anderer Ersatz für den Verlust vorhanden sein. Wo können wir diesen suchen? Newton, der sich bereits mit dieser Frage beschäftigte, glaubte, durch den Sturz der Kometen in die Sonne werde ihr Feuer beständig neu geschürt. Wir haben in dem Kapitel über die Kometen bereits auseinandergesetzt, daß in der Tat ein solcher Untergang eines umherirrenden Schweifsterns im Zentralherde ein nicht seltenes Ereignis sein kann, obwohl wir es noch nicht zu beobachten Gelegenheit hatten. Gleichzeitig aber erkannten wir, daß die Kometen aus viel zu geringer Masse bestehen, als daß sie den berechneten Verlust an Sonnenenergie ersetzen könnten, selbst wenn alle erscheinenden Kometen in die Sonne stürzten und aus den brennbarsten aller Materien beständen. Später hat Robert Mayer, der Begründer des Gesetzes von der Erhaltung der Kraft, diese Ansicht Newtons dahin modifiziert, daß er nicht mehr das Verbrennen der hineinstürzenden Körper für diesen Ersatz heranzieht, sondern das Freiwerden von

Wärme durch die Gewalt des Aufsturzes selbst. Wir haben ja gesehen, welche enormen Geschwindigkeiten die Kometen in der nächsten Nähe der Sonne annehmen. Wird diese Kraft der Bewegung durch das Eintauchen von kometarischen Massen in den Sonnenball vernichtet, so muß eine andere Kraft dafür erscheinen: die in ihren Wärmevibrationen erlahmenden Atome des Sonnenkörpers erzittern wieder kräftiger, strahlen aufs neue mehr Wärme und Licht aus.

Diese Ersatzquelle muß man in der Tat für bedeutend ausgiebiger erachten als den Verbrennungsprozeß, namentlich da man nun auch die sehr zahlreichen Meteoriten mitarbeiten lassen kann, die ebenso notwendig in die Atmosphäre der Sonne einschlagen müssen, wie sie es bei uns tun, und zwar dort mit einer 28mal größeren Gewalt. Ganz gewiß wird hierdurch ein nicht unbeträchtlicher Teil der Sonnenenergie wiedergewonnen, aber die Haupteinnahmequelle kann auch das nicht sein. Wiederum war es der Theoretiker, der Rechner, der Einspruch erhob. Er zeigte, daß die Größe der Sonne unter dieser Annahme viel zu sehr zunehmen müßte. Wäre dies auch nicht so bald am Durchmesser der Sonne zu bemerken, so doch an ihren anziehenden Wirkungen, durch die sie die Bewegungen des ganzen Systems lenkt. Sie werden mit aller Genauigkeit dauernd gemessen. Nun ist aber die Anziehungskraft jedes Körpers seiner Masse genau proportional; nimmt diese also bei der Sonne beträchtlich zu, wie es nötig wäre, wenn der Aufsturz von Meteoriten allein den Verlust an Sonnenwärme decken sollte, so müßten sich alle Planeten immer schneller um den Mittelpunkt des Systems bewegen, und zwar um Größen, die durchaus innerhalb unserer Beobachtungsfähigkeit liegen. Da diese Zunahme der Bewegung nicht stattfindet, haben wir also noch nach einem anderen Ersatz zu suchen. Diesen fand der geniale Helmholtz in dem eigenen Inneren der Sonne.

Der Druck überliegender Massen, die langsame Zusammenziehung des riesigen Gasballes, stellt sich als eine ungemein ergiebige Wärmequelle heraus. Wir können deren Wirkung auch auf unserer Erde sehr deutlich bestimmen. Die größere Wärme, die wir in Bergwerken wahrnehmen, je tiefer wir in die Kruste unseres Planeten eindringen, ist zunächst nur die Wirkung des Druckes der alsdann über uns lagernden Gesteinsschichten und nicht etwa die eines Näherrückens zu dem Zentralfeuer im Erdkern, das man hier ehemals vermutete. Finden wir doch die gleiche Zunahme der Gesteinstemperatur, wenn wir horizontal in das Gebirge eindringen: beim Bau des Gotthard- wie auch des Simplontunnels konnte man die Höhe der Gesteinsschichten, die man jeweilig über sich hatte, ziemlich genau aus der herrschenden Gesteinstemperatur ableiten; sie stieg im Gotthard auf 30, beim Simplontunnel, über dem viel höhere Bergmassive ruhen, auf 45 Zentigrad. Helmholtz bewies nun, daß eine Wassermasse von der Ausdehnung der Sonne unter dem Einfluß ihrer eigenen Schwere sich nur um den 10,000. Teil ihrer Größe zu verkleinern brauche, um ihre Temperatur dadurch um 2860 Zentigrade zu erhöhen, was den Wärmeverlust der Sonne auf ein ganzes Jahrtausend decken würde. Eine solche Abnahme des Durchmessers von 0,2″ im Jahrtausend entzieht sich gänzlich unserer Beobachtung. Die Voraussetzung einer Wasserkugel für diese Rechnung bedeutet aber nach allen Erfahrungen, die wir über die Sonne besitzen, eine untere Grenze, so daß in Wirklichkeit wahrscheinlich eine viel geringere Zusammenziehung des Sonnenballs genügt, um ihn noch für eine unermeßlich lange Zeit auf der gegenwärtigen Temperatur zu erhalten.

In neuerer Zeit hat Ekholm die Untersuchungen von Helmholtz unter Berücksichtigung

neuer Erfahrungen wiederholt und gefunden, daß die Sonne eine mittlere Temperatur ihrer Gesamtmasse von etwa 100 Millionen Grad und deshalb einen Wärmevorrat von 50 Millionen Kalorien auf die Masseneinheit besitzt, wenn man die mittlere spezifische Wärme dieser Masse gleich der Hälfte der des Wassers annimmt. Diese Werte folgen nur aus dem Drucke der Massen auf sich selbst. Es müssen aber in der Sonne noch molekulare Kräfte, chemische Anziehungen vorhanden sein, bei deren Berücksichtigung man auf mindestens 200 Millionen Kalorien schließen muß, die in jedem Kilogramm der Sonnenmasse stecken müssen. Nimmt man nun für die Solarkonstante (s. S. 272) 3 Kalorien an, so ergibt sich, daß erst in 9000 Jahren der Sonnenhalbmesser um ein Zehntausendstel seines Wertes kleiner zu werden braucht, um den durch Ausstrahlung verursachten Wärmeverlust zu decken. Dies ist noch zehnmal weniger, als Helmholtz fand. Jedenfalls reicht der Energievorrat der Sonne aus, um während einiger hundert Millionen Jahre ihren Verlust so weit zu decken, daß die Möglichkeit einer Lebensentfaltung auf der Erde innerhalb so großer Zeitgrenzen vor und nach der Gegenwart dargetan ist.

Auch zwischen der Ausstrahlung und ihrem Ersatz durch Zusammenziehung des Sonnenballs muß ein Wechselspiel eintreten, wie zwischen der Abkühlung der äußeren Schichten und ihrer Wiedererwärmung von innen her. Beide Wirkungen vereinigen sich, um die Fleckenperiode zu erzeugen. Das periodische Zusammenziehen und Wiederausdehnen durch die neu entwickelte oder aus dem Inneren zuströmende Wärme erzeugt also eine Art Pulsieren des Sonnenballs, ebenso wie das Auf- und Niedersteigen der heißesten und deshalb leuchtendsten Schicht nach der Halmschen Theorie ein Schwanken des scheinbaren Sonnendurchmessers um einen neuen Mittelwert während je einer Fleckenperiode bedingt. In der Tat glaubt Lane Poor aus der Zusammenstellung aller betreffenden Messungen solche Vibrationen des Sonnenballs nachgewiesen zu haben. Er fand ein Überwiegen des äquatorialen Sonnendurchmessers von freilich nur 0,3 Bogensekunden in den Zeiten der Fleckenmaxima, während im Minimum der polare Durchmesser um diesen Betrag größer sein soll. Es wäre solches Vibrieren nach Art eines elastischen Balles an sich wahrscheinlich, aber man darf wegen der Kleinheit des dafür gefundenen Wertes den tatsächlichen Nachweis eines solchen Vorganges doch noch nicht als erbracht ansehen, besonders da die sehr exakten Untersuchungen von Auwers den Wert des Sonnendurchmessers völlig konstant ergaben.

Mit den hier zusammengefaßten Kenntnissen über unser Zentralgestirn ausgerüstet, wollen wir nun die Wanderung in das unermeßliche Reich der übrigen Sonnen außerhalb unserer kleinen Planetenwelt antreten.

B. Die Welt der Fixsterne.

14. Allgemeines.

Bisher haben wir aus der Fülle der Gestirne am Himmelsgewölbe immer nur einzelne herausgegriffen, die durch ihre Helligkeit oder ihre Beweglichkeit am auffälligsten waren. Nur die Schar der kleinen Planeten und die ephemeren Erscheinungen der Kometen und Meteore mußten in Bausch und Bogen behandelt werden, indem bloß einige der typischsten Erscheinungen zu Einzelschilderungen ausgewählt werden konnten. Wenn wir uns nun der ungeheuern Welt der Fixsterne zuwenden, die nach Millionen zählen, müssen wir uns der letzteren Methode fast ausschließlich bedienen und deshalb zunächst nach einem System für die allgemeine Orientierung innerhalb des unendlichen Gebietes suchen. Wie finden wir uns hier zurecht? Wie bezeichnen wir die Sterne, um sie voneinander zu unterscheiden?

Wir werden bald sehen, daß nach unseren heutigen Erfahrungen keineswegs die helleren Sterne auch unter allen Umständen die interessantesten sind. Nur unsere Unzulänglichkeit führte uns zunächst zu diesen. Wir können aber unmöglich Tausende und Abertausende von Namen erfinden, um die seither im besonderen untersuchten Sterne zu bezeichnen. Man hat deshalb, nachdem man schon sehr früh einzelne Sterne mit Namen belegt und gewisse mehr oder weniger augenfällige Gruppierungen davon zu Sternbildern vereinigt hatte, noch innerhalb dieser Bilder die kleineren Sterne mit eigenen Bezeichnungen versehen müssen. Man wählte dazu die Buchstaben des griechischen Alphabets. Da aber auch dieses bald nicht mehr ausreichte, mußte man seine Zuflucht zu Zahlen nehmen, denen keine Grenzen gesetzt sind.

Alle helleren Sterne haben von den meisten Völkern Benennungen erhalten, die oft von einem Volk auf das andere übergingen, so daß heute am Himmel eine wahre babylonische Sprachenverwirrung herrscht. Byzantinische und arabische Namen sind am meisten vertreten; es kommen aber auch griechische und römische vor. Die Sternbilder verdanken ihre Namen gleichfalls den verschiedensten Anlässen. Zuerst scheinen sie den Bedürfnissen des Ackerbauers angepaßt worden zu sein, der seine Feldarbeiten nach dem Wiedererscheinen gewisser Sterne in ihrem jährlichen Lauf einrichtete. Für ihn war ja ehemals der Himmel der einzig maßgebende Kalender. Später kamen Motive der Eitelkeit und Ruhmsucht hinzu. Wo irgendeine scheinbare Lücke mit winzigen Sternen zwischen den großen, längst benannten Sternengruppen zu finden war, schob man ein neues Bild ein, wie beispielsweise das brandenburgische Zepter, dem damit wahrlich eine zweifelhafte Ehre angetan war. Versuche, große altbekannte Sternbilder umzutaufen, sind regelmäßig mißglückt, so der, das wundervolle Sternbild des Orion dem ersten Napoleon zu widmen.

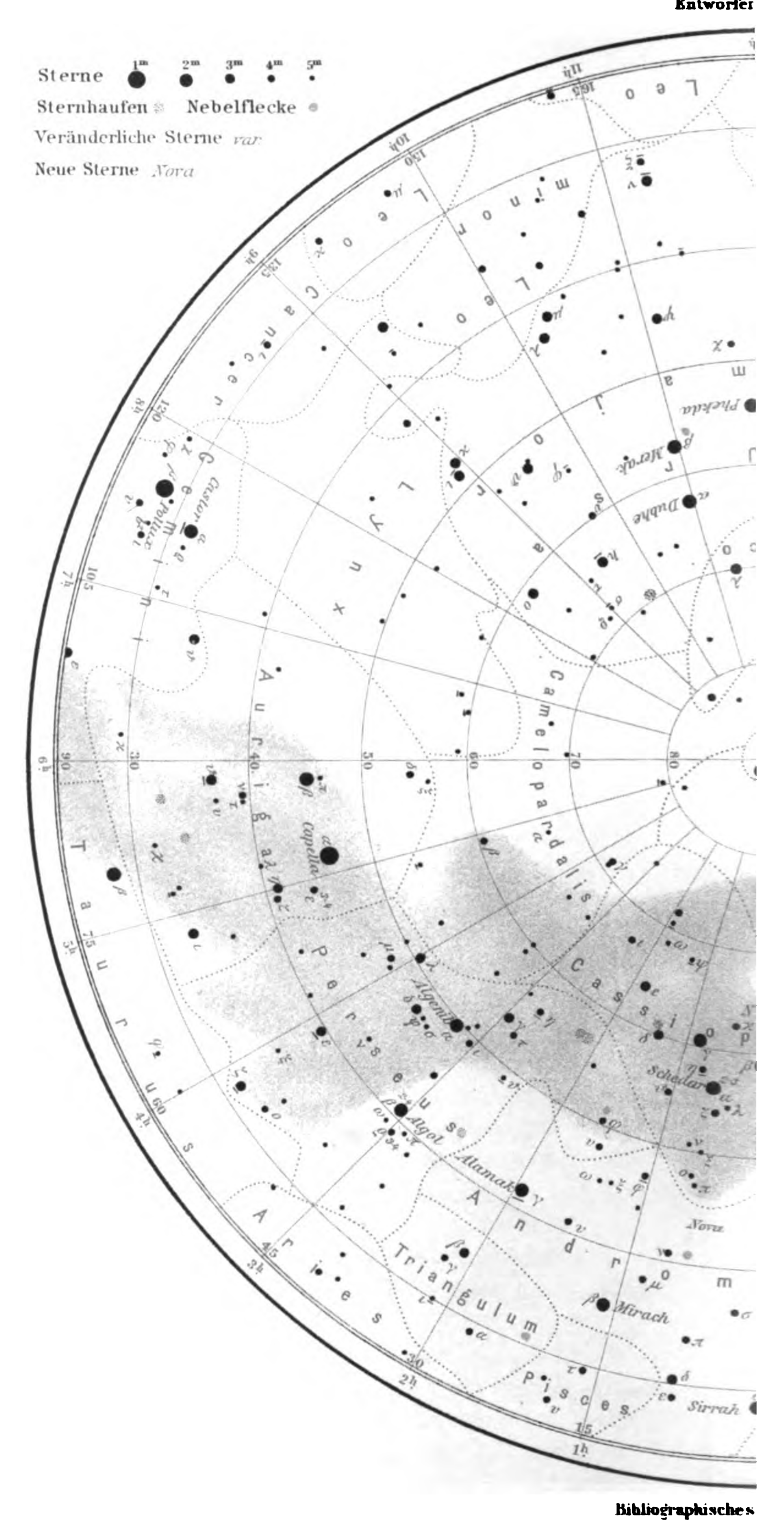
Es kann hier nicht unsere Aufgabe sein, die Lage und Form der einzelnen Sternbilder zu schildern. Man lernt den Himmel dadurch nicht kennen, wenn man ihn nicht zugleich an der Hand einer Karte nächtlich selbst studiert. Hierzu aber Anleitung zu geben, liegt nicht im Sinne dieses Werkes. Zur Aufsuchung eines bestimmten Sternes bedarf der Astronom längst nicht mehr der schwerfälligen Methode der Sternbildereinteilungen. Seit er unter den großen Kuppeldomen seiner Sternwarten mit Instrumenten arbeitet, die er auf eine bestimmte Stelle des Himmels richten kann, ohne den Himmel auch nur einen Augenblick ansehen zu müssen, braucht er die Sternbilder überhaupt nicht mehr zu kennen. Er hat sich längst für seine Zwecke an die Methode gewöhnt, die wir am besten durch die Einteilung unserer Erdkugel in die bekannten Koordinaten der geographischen Breite und Länge veranschaulichen. Pol und Äquator der Erde spiegeln sich durch die tägliche Umdrehung derselben am Himmel wider. Das geographische Koordinatensystem überträgt sich dadurch wie von selbst auf das Sternengewölbe: was wir auf der Erde Breite nennen, heißt am Himmel Deklination oder Abweichung. Sie wird ganz wie die geographische Breite vom Himmelsäquator nach den Polen hin in 90 Grade geteilt und auf der nördlichen Halbkugel mit Plus (+), auf der südlichen mit Minus (—) bezeichnet. Die andere Koordinate, die auf der Erde als geographische Länge von verschiedenen Nullpunkten an westlich und östlich um den Globus herum gezählt wird, erscheint am Himmel als Rektaszension oder gerade Aufsteigung wieder; doch hier, wo keine nationalen Eifersüchteleien mitsprechen konnten, in einheitlicher Weise, indem von einem bestimmten, am Himmel stets genau zu bestimmenden Punkte des Äquators, dem sogenannten Frühlingsnachtgleichenpunkte, rings um den Himmel die 360 Grade immer nur in einer Richtung weitergezählt werden.

Diese Einteilung ist auf unseren beigegebenen Sternkarten unmittelbar ersichtlich, die in allen folgenden Fällen zur Orientierung über die Lage der betreffenden Objekte benutzt werden mögen. Durch die Angabe der Rektaszension und Deklination ist der Ort eines Sternes ebenso genau angegeben wie der einer Stadt durch die geographische Länge und Breite; man wird ihn danach sofort auf jeder Karte finden können. Obschon dieses System sehr viel praktischer ist als das der Namengebung, muß man doch zugeben, daß es charakterlos ist. Spricht man beispielsweise von einer Stadt unter + 37° 58′ Breite und 23° 44′ östlicher Länge von Greenwich, so wird nicht gleich jeder wissen, daß Athen gemeint ist. Dagegen wird es bei einem ganz unbekannten Orte immer vorteilhaft sein, statt seines Namens seine geographischen Koordinaten anzugeben. So macht man es am Himmel: bei großen Sternen, deren Lage man als bekannt voraussetzen darf, führt man meist ihren Namen an, bezw. ihre Bezeichnung durch das Sternbild mit dem ihnen zukommenden griechischen Buchstaben. Dagegen hat man, seit der Sternreichtum mit der Verschärfung unserer Sehwerkzeuge so ungemein gewachsen ist, sich nicht mehr bemüht, diese Art der Bezeichnung weiter auszubilden; die kleineren Sterne werden also durch ihre Rektaszension und Deklination allein unterschieden, oder auch wohl durch die Nummer, die sie in einem bestimmten Sternverzeichnis führen.

Die Auffindung eines Sternes wird ferner durch die Angabe seiner Helligkeit erleichtert. Damit kommen wir schon zu einem Element, das zugleich eine physische Bedeutung hat, denn diese Helligkeit muß entweder eine Folge der wirklichen Leuchtkraft oder der Entfernung von uns sein; wir können also das eine oder das andere aus der

KARTE DES NÖRDLICHEN GESTIRNTEN

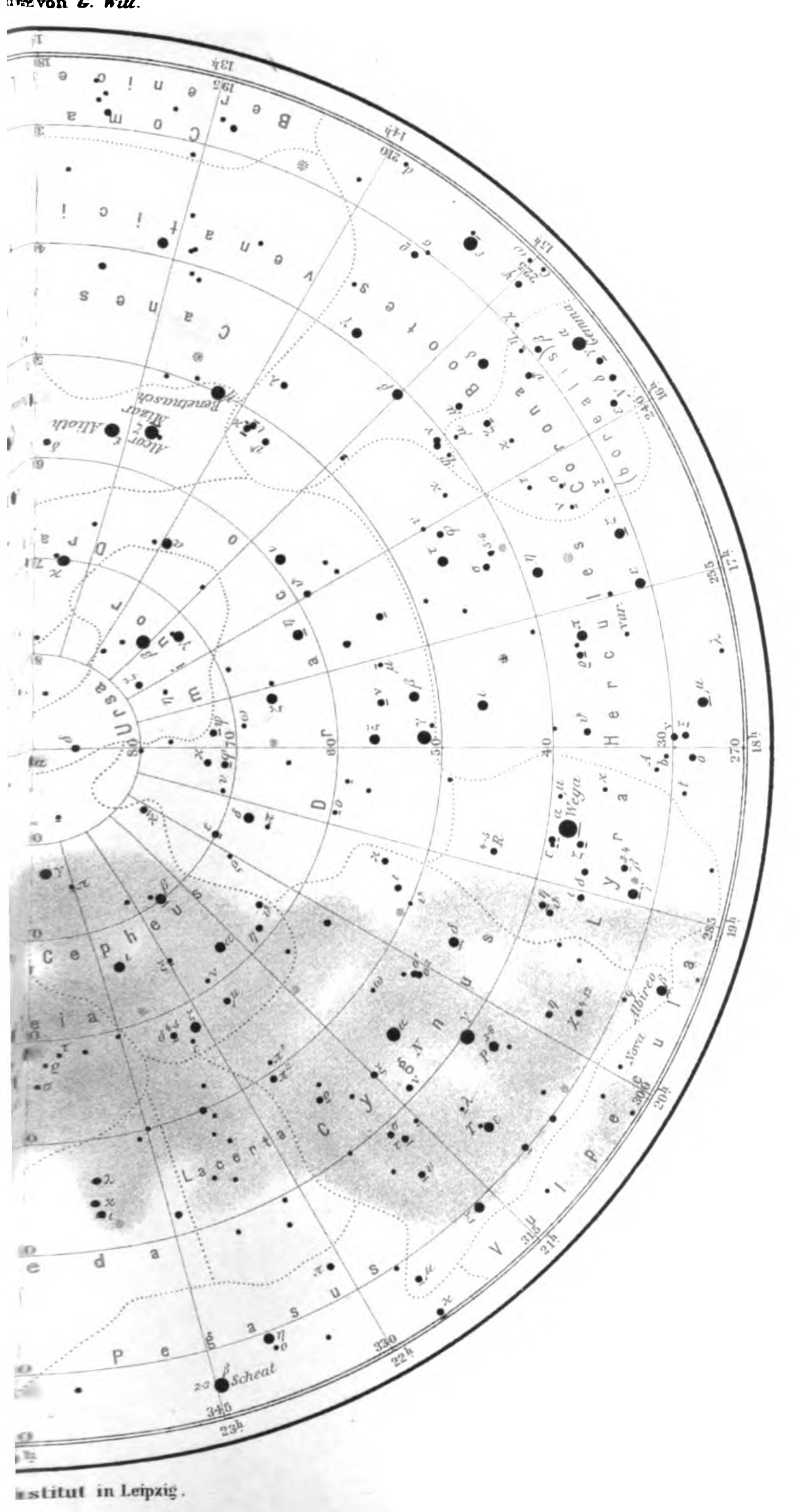
Entworfen



Bibliographisches

STEN HIMMELS BIS 25° NÖRDL. DEKLINATION.

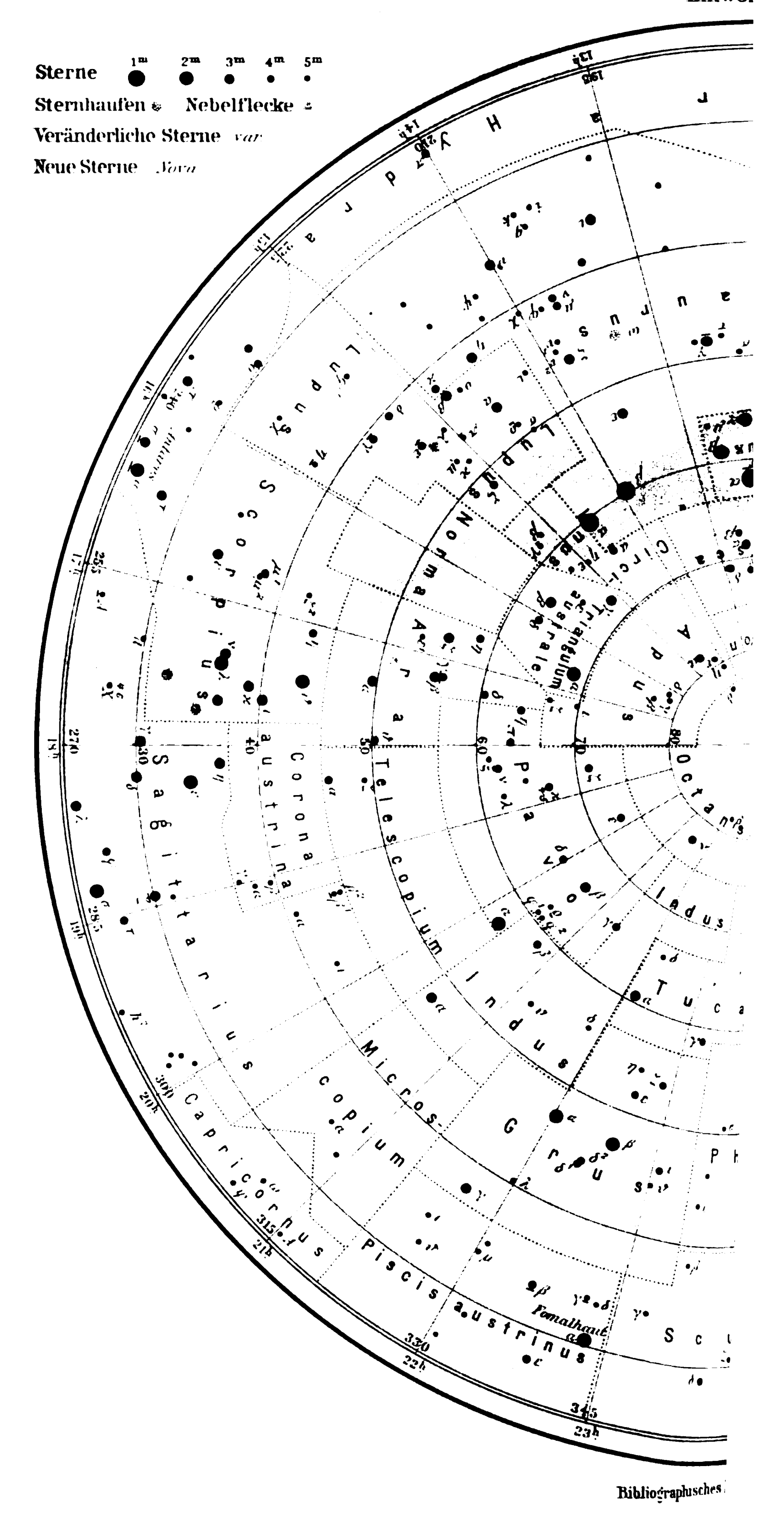
...von G. Will.



istitut in Leipzig.

KARTE DES SÜDLICHEN GESTIRNTE

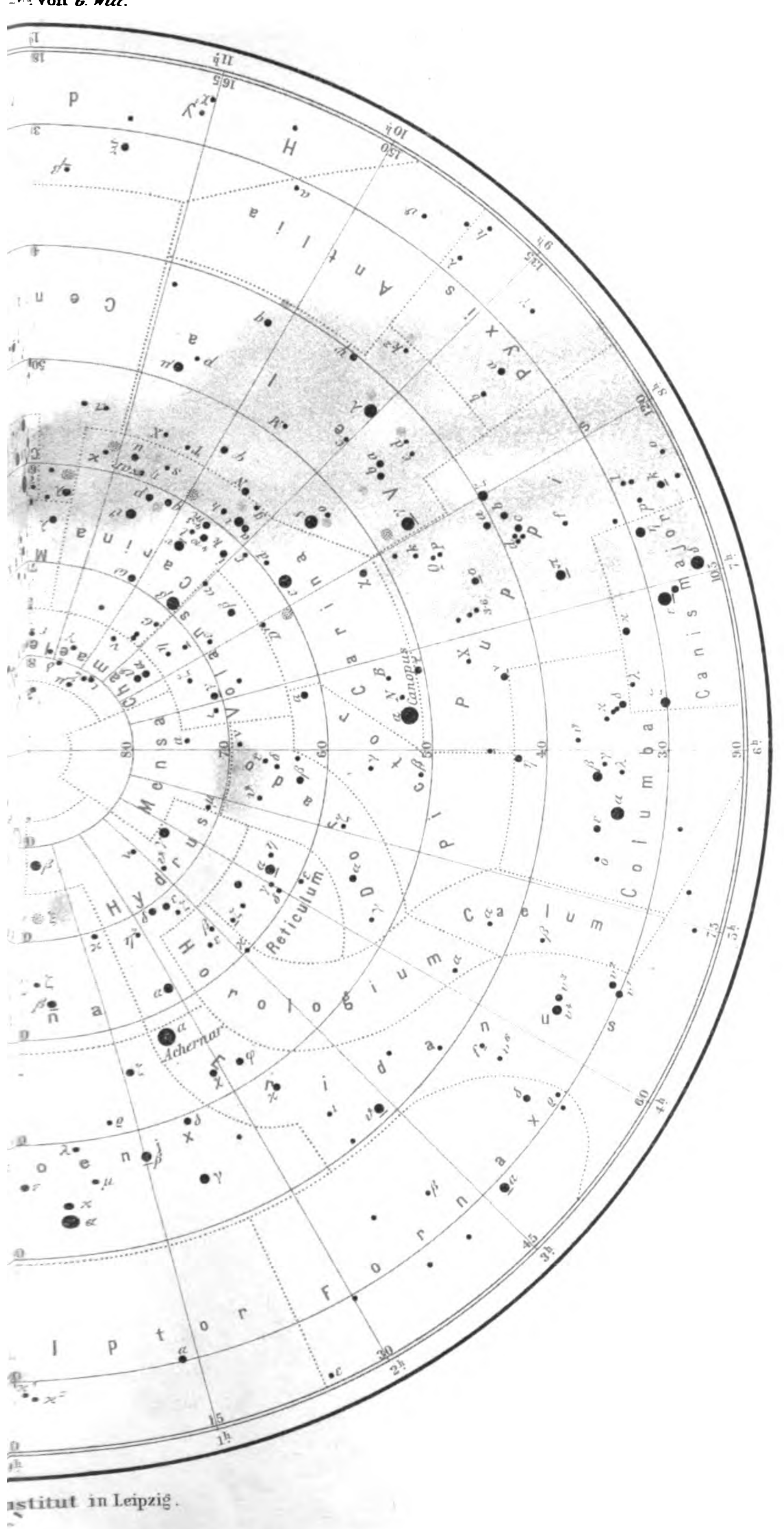
Entwo



Bibliographisches

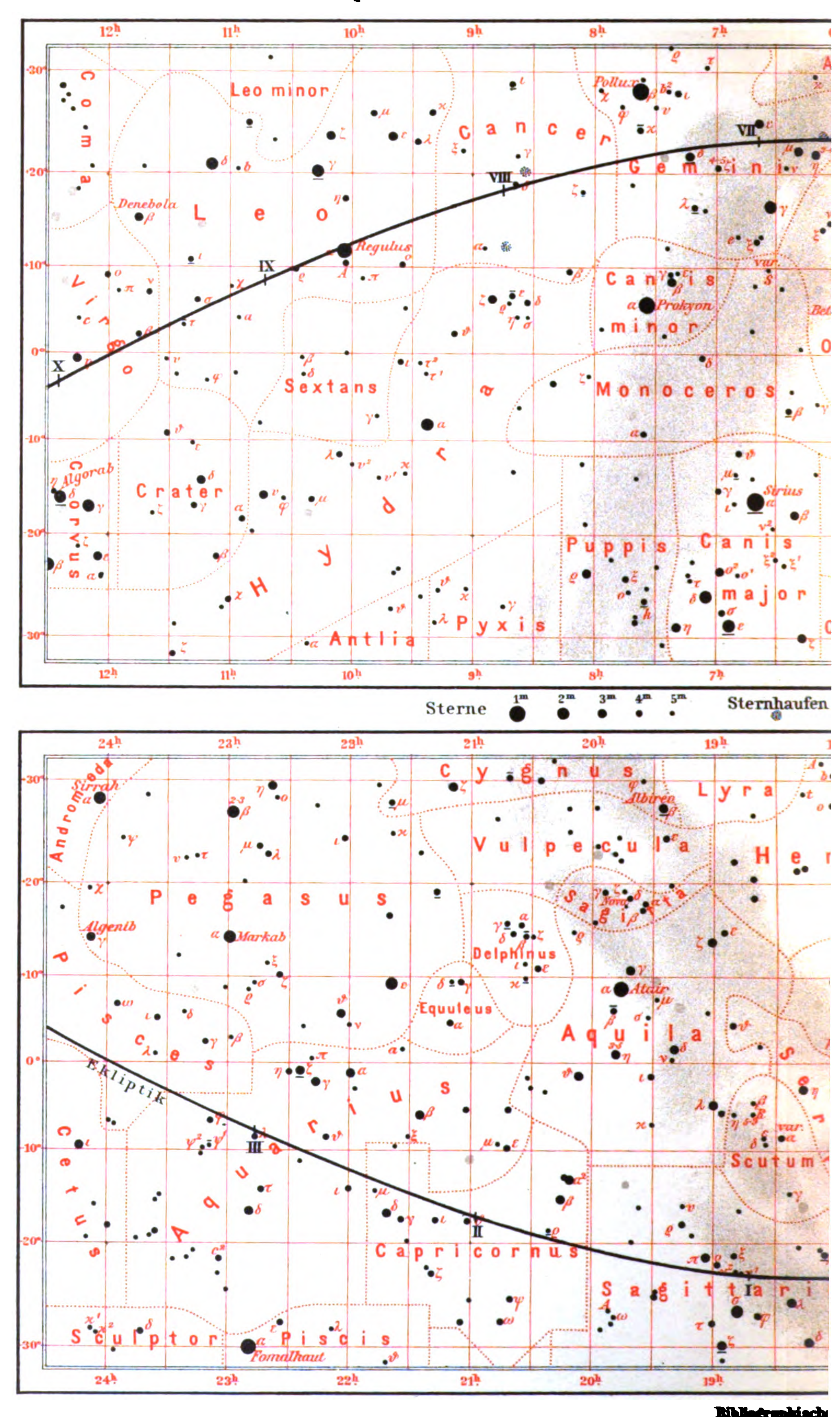
…HIMMELS BIS 25° SÜDL. DEKLINATION.

…von G. Witt.



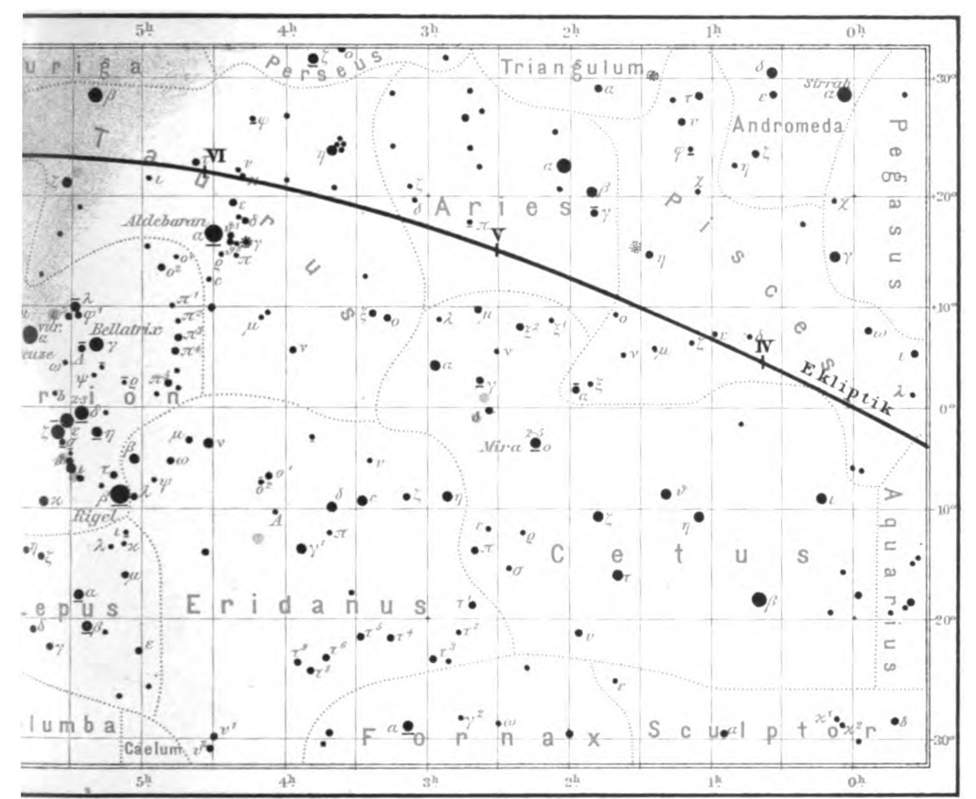
…stitut in Leipzig.

KARTE DER ÄQUATORIALZONE DES GESTIRNTEN HIM[...]

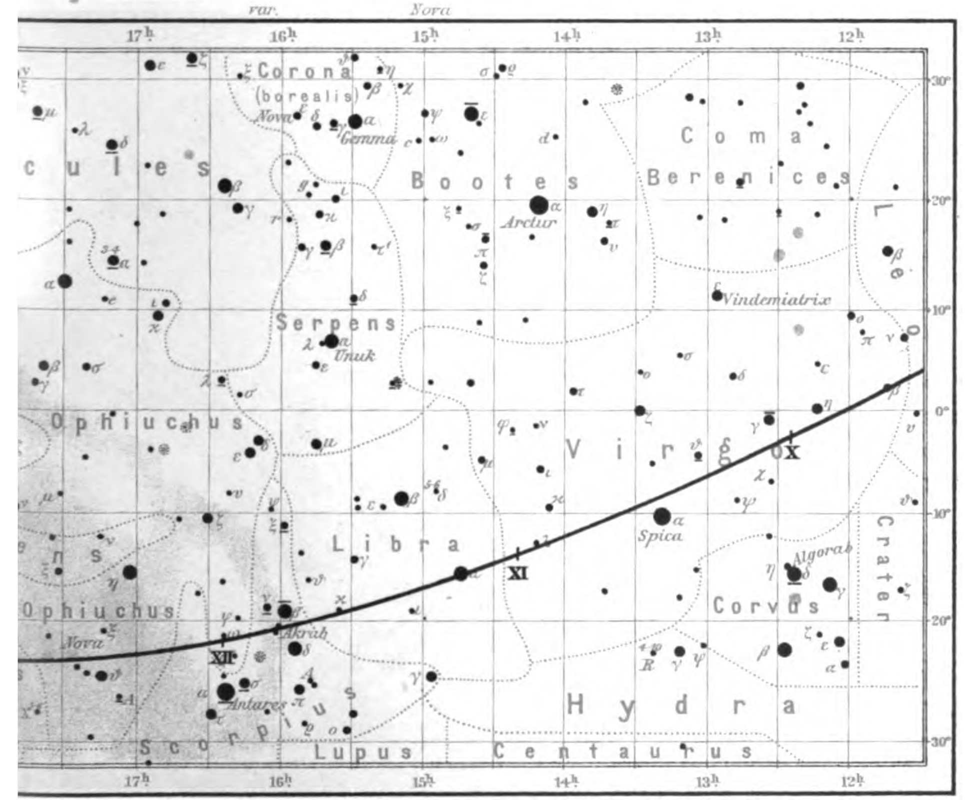


Bibliographisch[...]

ELS ZWISCHEN 32° NÖRDL. UND SÜDL. DEKLINATION.



Nebelflecke **Veränderliche Sterne** *Var.* **Neue Sterne** *Nova*



stitut in Leipzig.

Bestimmung der Helligkeit eines Sternes ableiten, wenn eines von beiden bekannt ist. Die Einteilung der Sterne in Helligkeitsstufen, die fachmännisch als Größenklassen bezeichnet werden, ist deshalb eine wichtige Aufgabe der Beobachtungskunst, die leider erst in der neueren Zeit, seit man über zuverlässige lichtmessende Instrumente verfügt, ernstlich in Angriff genommen werden konnte. Bis dahin mußte man sich mit bloßen Schätzungen im Fernrohr begnügen, worin übrigens, wie nachträglich vergleichende Bestimmungen mit dem Photometer gezeigt haben, einige Astronomen, z. B. Argelander in Bonn, eine erstaunliche Sicherheit erlangt haben. Man ist übereingekommen, die noch mit dem bloßen Auge sichtbaren Sterne in sechs Größenklassen einzuteilen, und zwar so, daß die schwächsten Sterne dieser Gruppe als der sechsten Größenklasse angehörig bezeichnet werden, und noch je eine Zwischenklasse zu unterscheiden, indem man z. B. von Sternen dritter bis vierter Größe spricht.

Übersicht der Helligkeiten aller Sterne der ersten und zweiten Größe.

Sterne erster Größe	Helligkeit	Sterne zweiter Größe	Helligkeit	Sterne zweiter Größe	Helligkeit
Sirius	4,28	β Crucis	0,34	γ Geminorum	0,17
Canopus	2,72	Deneb	0,31	λ Argus	0,16
α Centauri	1,23	α Gruis	0,31	δ Canis majoris	0,16
Wega	1,00	ε Canis majoris	0,31	α Andromedae	0,16
Rigel	1,00	γ Crucis	0,29	ζ Ursae majoris	0,15
Capella	0,82	Pollux	0,29	α Ophiuchi	0,14
Arcturus	0,79	λ Scorpii	0,26	β Leonis	0,14
Procyon	0,70	Castor	0,26	α Ursae majoris	0,14
Beteigeuze	0,70	γ Orionis	0,26	γ Cassiopejae	0,14
α Eridani	0,59	β Tauri	0,23	α Coronae bor.	0,13
β Centauri	0,53	ζ Orionis	0,22	δ Orionis	0,13
α Crucis	0,52	β Argus	0,22	α Ursae minoris	0,13
Atair	0,49	γ Argus	0,22	β Ursae majoris	0,12
Spica	0,48	ε Ursae majoris	0,21	β Ceti	0,11
Fomalhaut	0,34	η Ursae majoris	0,21	α Arietis	0,11
Regulus	0,33	ε Argus	0,20	γ Andromedae	0,11
Aldebaran	0,30	ε Orionis	0,19	γ Ursae majoris	0,11
Antares	0,29	α Trianguli	0,19	γ Leonis	0,10
		ε Sagittarii	0,19	α Hydrae	0,10
		ϑ Scorpii	0,18	β Cassiopejae	0,10
		α Pavonis	0,18	β Andromedae	0,10
		β Aurigae	0,18	β Ursae minoris	0,09
		α Persei	0,17	α Pegasi	0,09
		β Gruis	0,17	δ Leonis	0,09
		σ Sagittarii	0,17	β Librae	0,08
		δ Argus	0,17		

Es braucht hier bloß in Erinnerung gebracht zu werden, daß alle Fixsterne auch in den größten Fernrohren durchmesserlos erscheinen, weshalb diese Größenklassen über die scheinbaren Größen dieser Himmelskörper nichts aussagen, sondern sich lediglich auf die scheinbaren Helligkeiten beziehen. Im Fernrohr setzen sich aber diese Abstufungen noch sehr weit fort, so daß man dabei etwa bis zur 16. Größe fortschreitet. Bestimmte Grenzen sind hier begreiflicherweise nicht zu ziehen, da die Kraft der Fernrohre beständig wächst und anderseits bei diesen letzten Anstrengungen des Sehvermögens die Schätzungen recht unsicher werden.

Die Größenklasse, bis zu der ein Fernrohr vorzudringen vermag, hängt, wie aus unseren Betrachtungen im Kapitel über die Sehwerkzeuge des Astronomen hervorgeht, nur von der Größe der Öffnung, d. h. des Objektivs, ab. Die dem Auge zugeführte Lichtmenge entscheidet allein, da eine Vergrößerung des Objektes hier nicht stattfindet. Man hat nun gefunden, daß die Lichtmengen der einzelnen Größenklassen sich immer um etwa das 2½fache abstufen. Will man diese Helligkeit durch weiße Scheiben darstellen, so müßte sich deren Durchmesser im Verhältnisse der Quadratwurzel von 2,5 für jede Größenklasse vermindern. Es finden sich dann nach Steinheil unter Berücksichtigung der herrschenden Übereinkunft folgende Zahlen für die ersten sechs Klassen: 1,00, 0,60, 0,35, 0,21, 0,12, 0,07. Würden wir also die Sterne der vierten Größe, die für das bloße Auge noch recht auffällige Objekte sind, auf einer Sternkarte nur 1 mm groß zeichnen, so müßten wir die Sterne erster Größe bereits durch Scheiben von 5 mm Durchmesser repräsentieren, die dann recht unförmlich groß aussehen würden, während die Größen unter der vierten kaum noch zu bemerken wären. Man muß deshalb für die Konstruktion der Sternkarten auf die richtige Wiedergabe der Lichtverhältnisse verzichten.

Innerhalb der Größenklassen finden natürlich weitere Abstufungen statt, und namentlich bei der ersten Klasse blieb nach obenhin ein Spielraum, da man irgendeinen Normalstern auswählen mußte. Man nahm dafür den hellsten Stern der nördlichen Himmelshälfte, Wega, den ersten Stern im Bilde der Leyer, also auch α Lyrae genannt. Auf der südlichen Halbkugel des Himmels gibt es drei Sterne, die den Glanz der Wega übertreffen; unter ihnen ist Sirius (α Canis majoris) der hellste, und zwar ist seine Lichtstärke über viermal größer als die der Wega. Die beiden anderen hellsten Sterne des Südhimmels, Canopus und α Centauri, sind für unsere Breiten nicht sichtbar. In der Tabelle auf Seite 315 geben wir sämtliche Sterne erster und zweiter Größe mit den teils von Seidel in München, teils von John Herschel am Kap der Guten Hoffnung photometrisch bestimmten Helligkeiten, und zwar nach diesen geordnet.

Da man Wega als Normalstern erster Größe angenommen hat, muß man, um konsequent vorzugehen, die noch helleren Sterne mit negativ fortschreitenden Größenklassenbezeichnungen versehen. Da jede Größenklasse 2½mal mehr Licht als die vorangehende besitzt, ist danach der 4,28mal die Helligkeit der Wega übertreffende Sirius in die —1,6. Größenklasse zu ordnen. Nach diesem Prinzip würde die Sonne der —26,6. Größenklasse angehören, womit gesagt ist, daß ihr Licht sich als 17,000millionenmal heller als das des Sirius erweist.

In dem Verzeichnis stehen 18 Sterne erster und 51 zweiter Größe. Man wird nicht in allen Werken eine völlige Übereinstimmung für diese Zahlen und noch weniger für die der folgenden Größenklassen finden, da es sich bei deren Begrenzung um eine Übereinkunft handelt. Wir sehen aber die Zahl der Sterne sich wesentlich steigern, je geringer ihre Leuchtkraft wird. Es ergeben sich nach Houzeau für den ganzen Himmel folgende Zahlen bis zur sechsten Größenklasse:

1. Größe	20	Sterne	4. Größe	595	Sterne
2. „	51	„	5. „	1213	„
3. „	200	„	6. „	3640	„

Zusammen sind es 5719 Sterne, die am Himmel beider Halbkugeln mit dem bloßen Auge gesehen werden können. Man wundert sich anfangs über die Kleinheit dieser Zahl,

da man sich von alters her an den Gedanken von der Unzählbarkeit der Sterne gewöhnt hat, die sogar sprichwörtlich geworden ist. In Wirklichkeit übersieht aber ein mittelgutes Auge unter mittleren atmosphärischen Verhältnissen sicher kaum mehr als 2000 Sterne, namentlich auch, weil die Dünste des Horizontes viele der schwächeren auslöschen. Viel großartiger tritt uns deshalb im Hochgebirge der Reichtum des Himmels an leuchtenden Welten entgegen, weil dort die aus der Unendlichkeit kommenden Strahlen einen weit geringeren Weg durch die lichtverschluckende Luft zurückzulegen haben. Müller in Potsdam hat photometrische Bestimmungen auf dem Gipfel des 2500 m hohen Säntis vorgenommen und gefunden, daß dort selbst die Sterne im Zenit um 0,1—0,2, im Horizont aber um 0,5—0,7 Größenklassen heller erscheinen als in der Ebene. Hieraus folgt bei der schnellen Zunahme der Sternhäufigkeit mit abnehmender Helligkeit, daß in dieser Höhe mindestens doppelt soviel Sterne mit freiem Auge sichtbar sind wie auf dem Grunde des leider so trüben Luftmeeres.

Über die sechste Größe hinaus werden die Zahlenangaben fortschreitend unsicherer, weil der südliche Himmel immer noch nicht mit der gleichen Sorgfalt durchmustert ist wie der in unseren Breiten zugängliche Teil des Firmamentes. Um das Anwachsen der Sternhäufigkeit mit der Lichtabnahme zu veranschaulichen, geben wir hier nach Argelander nur die Anzahl der Sterne der nördlichen Himmelshälfte bis zur neunten Größe.

Größe	Sterne	Größe	Sterne
1,0.—1,9. Größe	10 Sterne	5,0.—5,9. Größe	1 001 Sterne
2,0.—2,9. "	37 "	6,0.—6,9. "	4 386 "
3,0.—3,9. "	130 "	7,0.—7,9. "	13 823 "
4,0.—4,9. "	312 "	8,0.—8,9. "	58 095 "

Argelander hat auch noch die meisten Sterne bis zur 9,5. Größe katalogisiert; diese sind jedoch der Zahl nach nicht mehr ganz vollständig. Es sind deren 237,131, die oben angeführten nicht gerechnet. Im ganzen enthält das Verzeichnis des Bonner Astronomen also 314,925 Sterne bis zur 9,5. Größe, also nahezu ⅓ Million. Sterne bis zu dieser Helligkeit sind in Fernrohren von etwa 100 mm Öffnung ganz gut sichtbar. Dies sind nach modernen Begriffen sehr kleine Fernrohre. Es würde bei weitem die verfügbaren Kräfte übersteigen, wollte man sich an die Aufgabe machen, eine irgendwie über den Wert einer rohen Schätzung hinausgehende Zählung aller Sterne vorzunehmen, die unseren Riesenfernrohren der Gegenwart noch sichtbar sind. Man mag 30—50 Millionen dafür angeben, ohne sich einer Überschätzung verdächtig zu machen.

Schon seit mehr als 2000 Jahren sind die Astronomen bemüht, diese Sternenfülle zu katalogisieren, d. h. den Ort jedes einzelnen Individuums dieser ungeheuern Familie festzulegen, wie er zu einer bestimmten Zeit, von einem bestimmten Punkt des Himmels gemessen, stattfand: Rektaszension und Deklination der Sterne waren zu ermitteln. Wie dies geschieht, werden wir erst später sehen; aber man versteht schon so, daß die Arbeit keine leichte ist. Hipparch war der erste, der, um 150 v. Chr. auf der Insel Rhodus und wohl auch in Alexandrien beobachtend, eine systematische Durchmusterung des Himmels vornahm und, mit einfachen Winkelinstrumenten zur Bestimmung von Richtungen versehen, mehr als tausend Sternörter festlegte. Dieses Verzeichnis, das später von Ptolemäus in seinem berühmten Almagest veröffentlicht wurde, gibt uns heute die wichtigsten Aufschlüsse über die Bewegungen, welche die mit Unrecht Fixsterne genannten Weltkörper in den letzten 2000 Jahren ausgeführt haben, denn jene alten

Beobachtungen stellen sich, in Anbetracht der primitiven Beobachtungsmittel der Zeit, aus der sie stammen, als erstaunlich genau heraus. Von den Alexandrinern ging die Pflege der Sternkunde an die Araber über: Ulugh-Bey beobachtete in Samarkand um die Mitte des 15. Jahrhunderts noch einmal alle Sterne des Almagest und gab uns dadurch ein weiteres wertvolles Zwischenglied für unsere Untersuchungen über die Eigenbewegungen der Sterne.

Aber erst nach der Erfindung des Fernrohrs und der damit ungemein schnell fortschreitenden Verfeinerung der astronomischen Meßmethoden war es möglich, die Arbeit Hipparchs an Ausdehnung und Schärfe der Angaben wesentlich zu übertreffen. Wir begegnen zunächst wieder dem vortrefflichen Hevel mit einem Katalog von 1564 Sternen. Ihm folgen immer reichere Verzeichnisse, die in Bessels „Zonen", 62,000 Sterne enthaltend, und in der Argelanderschen Riesenarbeit ihren Höhepunkt erreicht haben, soweit es sich um die Leistungen einzelner Beobachter handelt. Aber man sah bald ein, daß selbst die bewundernswürdigste Ausdauer für ein einziges Menschenalter nicht ausreichen konnte, um den stets wachsenden Sternreichtum zu bewältigen. Man schuf eine internationale Vereinigung, die Astronomische Gesellschaft, die sich zur vornehmsten Aufgabe die Herstellung eines umfassenden Sternverzeichnisses machte. Der Zonenkatalog der Astronomischen Gesellschaft, an dem seit einigen Jahrzehnten die hervorragendsten Sternwarten aller zivilisierten Nationen arbeiten, wird ein Fundamentalwerk für alle Zeiten werden. Um einen Begriff von dem Reichtum dieses Verzeichnisses zu geben, bilden wir auf S. 319 ein Kärtchen ab, das ein ganz kleines wohlbekanntes Gebiet des Himmels zwischen den beiden Schwanzsternen des Großen Bären, ζ und ε, darstellt. Mit dem bloßen Auge sind nur diese beiden Sterne 2. Größe sichtbar; das entsprechende Stück des Kataloges der Astronomischen Gesellschaft enthält aber an derselben Stelle die 120 Sterne des Kärtchens auf Seite 319. Der Katalog umfaßt zwar nur die Sterne bis zur neunten Größe, also nicht einmal so viel wie die Argelandersche Durchmusterung, aber es wird darin die denkbar größte Präzision erreicht werden, so daß die Positionen bis auf wenige Zehntel einer Bogensekunde genau sind, während das große Werk Argelanders zunächst nur zu einer annähernd richtigen Aufzeichnung, für die Herstellung einer Sternkarte größten Maßstabes dienen sollte, durch deren Veröffentlichung als Atlas des gestirnten Himmels sich Argelander ein dauerndes Denkmal gesetzt hat.

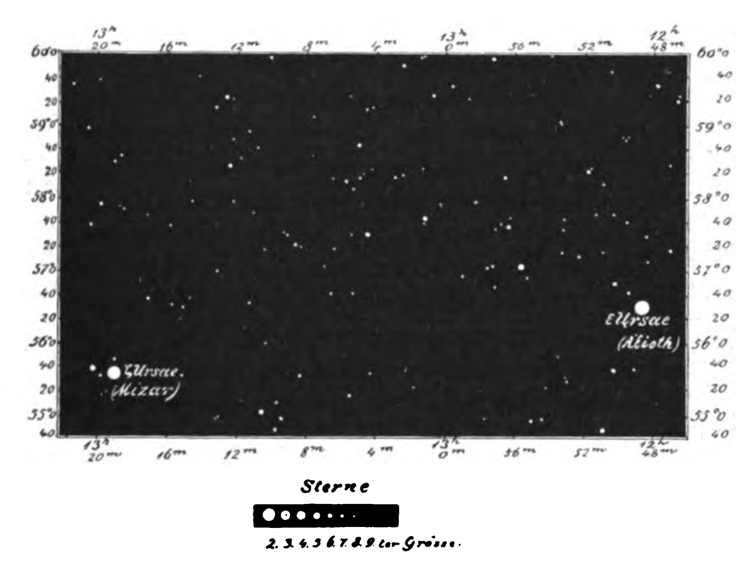


Kärtchen, die Lage von ζ und ε Ursae majoris für das bloße Auge veranschaulichend.

Die Argelanderschen „Zonen" reichen nur bis 2 Grad südlicher Deklination herab, umfassen also nicht viel mehr als eine Himmelshälfte. Schönfeld hat die Arbeit bis 23 Grad Süd-Deklination fortgesetzt; südlichere Sterne kann man auf unserer Erdhalbkugel nicht mehr beobachten. Die südliche Himmelshälfte ist in gleicher Weise von Gould in Cordoba (Argentinien) bearbeitet. Seine „Uranometria Argentina" enthält zwischen —22 Grad und —51 Grad Deklination 489,827 Sterne bis zur 10. Größe.

Die vollständigste und großartigste aller Himmelskarten wird die Photographische Himmelskarte werden, die auf Beschluß einer im Frühjahr 1887 in Paris zusammengetretenen internationalen Konferenz wiederum durch das gleichförmige Zusammenwirken einer über den ganzen Erdball verteilten Vereinigung von Astronomen in Angriff genommen worden ist. Es sollen zwei Aufnahmen jedes in bestimmter Weise abgegrenzten Gebietes

gemacht werden, die eine Aufnahme mit 5 Minuten, die andere mit 50 Minuten Belichtungszeit. Jede der so erhaltenen Karten soll aber die Nachbarkarte um die Hälfte überdecken, so daß von jedem Stern immer zwei Aufnahmen von gleicher Belichtungszeit gemacht werden. Die Fünfminutenaufnahmen werden die Sterne bis zur 11. Größe verzeichnen, die längeren Aufnahmen bis zur 13. Größe gehen. Es werden so 21,600 Karten zu einem Himmelsatlas vereinigt werden, der etwa 400,000 Sterne bis zur 11. Größe und vielleicht 3 Millionen bis zur 13. Größe enthalten wird. Die ersteren sollen genau ausgemessen werden, und die Genauigkeit der so erhaltenen Sternorte wird nach den inzwischen gesammelten Erfahrungen nicht wesentlich unter jener der direkten Messungen am „Meridiankreise" stehen. Heute schon sind Tausende von Platten dieses photographischen Riesenwerkes fertiggestellt, und in Paris ist ein Bureau zu ihrer Ausmessung dauernd in Tätigkeit. Mehr als auf irgendeinem anderen Gebiete menschlicher Betätigung sieht man hier in der Himmelsforschung das Wort bestätigt, daß der Mensch mit seinen höheren Zielen wächst: statt angesichts dieser überwältigenden Größe der Himmelswelt seine Ohnmacht zu bekennen und entmutigt die Arbeit ruhen zu lassen, begeistert er sich zu immer bewundernswürdigeren Taten.



Die 120 Sterne des Katalogs der Astronomischen Gesellschaft, zwischen ζ und ε Ursae majoris. Vgl. Text, S. 318.

Durch diese photographische Durchmusterung des Himmels wird indes die mit dem Auge direkt auszuführende Beobachtung niemals verdrängt werden, welche Genauigkeit auch die Ausmessung der Platten erreicht haben mag; denn man wird immer auf jeder Platte mindestens die Lage eines Sternes zum Anfangspunkte der Zählung, dem Frühlingsnachtgleichenpunkte, durch direkte Methoden bestimmen müssen, um ihn dann für die Platte als Ausgangspunkt der mikroskopischen Ausmessung zu benutzen. Solcher Fundamentalsterne bedarf die photographische Himmelskarte allein etwa 60,000.

Ferner kann man der direkten Bestimmung der Sterngrößen deshalb nicht entraten, weil die photographischen Helligkeiten wegen der verschiedenen chemischen Wirkung farbiger Lichtstrahlen sehr verschieden von den optisch festgestellten sind. Das Licht der Sterne ist ja nicht immer weiß, wenngleich dies bei der Mehrzahl für den oberflächlichen Anblick so scheint. In der Tat gibt es Sterne von allen erdenklichen Farbennuancen; es gibt rubinrote, Granatsterne, Topase, Smaragden und Saphire am Himmel. Die roten Sterne sind aber entschieden in der Mehrzahl; Schjellerup gab im Jahr 1866 ein Verzeichnis von

280 roten Sternen bis zur zehnten Größe heraus. Seitdem ist ihre Zahl noch wesentlich vermehrt worden, namentlich seit man den Himmel spektroskopisch untersucht. Sehr auffällig tritt die Farbe der Sterne da hervor, wo zwei von ihnen nahe beisammen stehen, bei den sogenannten Doppelsternen, die wir bald noch näher kennen lernen werden. Wiewohl die meisten Doppelsterne die gleiche Farbe zeigen, da auch hier Weiß vorherrscht, so hat doch eine beträchtliche Anzahl auffällig kontrastierende Färbungen, so daß man anfangs an optische Täuschungen, Kontrastwirkungen in unserem Auge dachte, die indes nicht stattfinden. W. Struve in Pulkowa bei Petersburg, der sich vorwiegend mit den Doppelsternen befaßt hat, untersuchte 596 Doppelsternpaare auf ihre Farben und fand, daß 375 die gleiche, 101 ähnliche, dagegen 120 ganz verschiedene Farben besaßen. Unter den 375 gleichfarbigen Paaren zählte er 295 weiße, 27 weißgelbe, 35 gelbliche, 11 gelbe, 2 goldgelbe und 5 grüne; unter den sehr verschieden gefärbten war bei 52 Paaren der eine Stern gelb, der andere blau; von abermals 52 war bei dem gelben Sterne der Begleiter nicht so intensiv, aber doch noch deutlich bläulich gefärbt; bei 16 erschien der eine grün, der andere blau. Wir sehen auch aus dieser Aufzählung, daß die nach dem roten Ende des Spektrums liegenden Nuancen entschieden vorherrschen, was uns an anderer Stelle noch beschäftigen wird. Schmidt hat eine Skala für die Bezeichnung der Sternfärbungen aufgestellt, nach der mit 0^c die ganz weißen, mit 10^c die intensiv roten Sterne bezeichnet werden; die Zwischenzahlen gelten für die Abstufungen über Gelb hinweg. Die grünen und blauen Sterne sind also nicht in diese Skala einzureihen. In Potsdam sind etwa 10,000 Sterne genauer auf ihre Färbung untersucht worden. Man fand, daß nur 20 Prozent dieser Sterne weiß waren, 40 Prozent gelblichweiß, 26 weißlichgelb und 14 Prozent gelbrot.

Unter den hellsten Sternen fallen bei einiger Aufmerksamkeit durch ihre rote Färbung die folgenden auf: Arktur, jener erste Stern im Bootes, den man leicht findet, wenn man die letzten Schwanzsterne des Großen Bären rückwärts verlängert, Aldebaran, der erste Stern im Stier, Pollux, einer der Zwillinge, Antares im Skorpion und namentlich Beteigeuze, der hellste Stern im herrlichen Bilde des Orion, die linke Schulter des mythologischen Jägers versinnlichend; auch α im Herkules ist noch als rötlicher Stern zu unterscheiden. Eingehender behandeln wir die Gruppierung der Sterne nach ihren Färbungen später bei ihrer spektroskopischen Untersuchung.

Da die gelblichen Sterne in der Mehrzahl sind und gerade diese photographisch langsam wirken, so wird die photographische Himmelskarte eine ziemlich beträchtliche Anzahl von Größenangaben enthalten, die mit den direkt gewonnenen nicht übereinstimmen. Man will indes lieber kein Übertragungssystem von der einen zur anderen Art anwenden, sondern beide Sterngrößen nebeneinander bestehen lassen. Es ist ja noch fraglich, welche empfindliche Schicht, die der Retina im Auge oder die der photographischen Platte, die getreueste Aufzeichnung von der gesamten, uns von jenen Welten zustrahlenden Lichtmenge ermöglicht.

Die verschiedene Färbung der Sterne gibt uns, im Spektroskop näher geprüft, ein Mittel, ihre Temperatur zu bestimmen. Wir haben ja hier einen Glühzustand vor uns und verstehen deshalb, daß die weißglühenden Sterne heißer sein müssen als die rotglühenden. Man hat es nun auch versucht, die Wärmestrahlung der Sterne direkt mit den feinen Instrumenten der modernen Beobachtungskunst (Bolometer) zu messen, hat dafür aber, wie zu erwarten war, nur verschwindend kleine Mengen gefunden. So ergab eine Messung

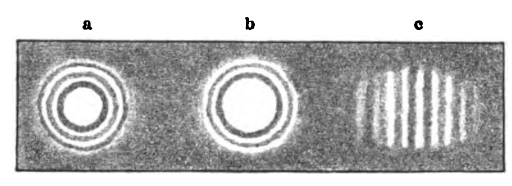
von Nichols auf der Yerkes-Sternwarte, daß Arktur uns nicht mehr Wärme zustrahlt als eine Kerze aus 8—10 km Entfernung. Sicherer sind die durch das Spektroskop erhaltenen Werte nach einer von Lummer und Pringsheim gefundenen Methode, die auch auf die Sonne angewandt werden konnte und dabei Werte zwischen 5500—4900 Grad ergab, die also wahrscheinlich etwas zu gering sind. Für den weißstrahlenden Sirius erhielt man als Temperaturgrenzen 8000 und 5700 Grad, für Wega 6400—5700, für Arktur 2700—2500, für den gelbroten Aldebaran 2900 und 2600, für den ausgesprochen rötlich gefärbten Beteigeuze 3200 und 2800 Grad. Diese rötlichen Sterne wären danach nicht viel heißer als die Kohlen des elektrischen Bogenlichts.

Die uns von den Sternen zukommende Lichtmenge ist, in Ermangelung besserer Methoden, das einzige Mittel, durch das wir einigen Aufschluß über die Verteilung der Fixsterne im Weltenraum und über ihre relativen Entfernungen erhalten können. Freilich müssen wir zu diesem Zwecke annehmen, daß wenigstens im Durchschnitt alle Sterne gleich hell leuchten und uns nur mit wachsender Entfernung immer weniger Licht zusenden. Für einen bestimmten aus der Fülle herausgegriffenen Stern würden wir hierbei sehr fehlgehen können; denn es wird in der Welt der Fixsterne ebensogut kleinere und größere Individuen geben, und auch hier werden, wie überall, die kleineren bedeutend zahlreicher sein als die größeren. Aber es ist doch von vornherein nicht anzunehmen, daß alle größeren oder alle kleineren Sterne gerade in unserer Nähe aufgestellt seien, sondern wir dürfen voraussetzen, daß in jeder Tiefe von uns hinweg, in jeder gleichgroßen Raumabteilung des Weltenraums auch gleichviel Sterne von derselben Größe angetroffen werden. Nennt man dann die unbekannte mittlere Entfernung der Sterne einer bestimmten, z. B. der ersten, Größenklasse eine Sternweite, so kann man aus der Lichtstärke der anderen Klassen deren mittlere Entfernung leicht berechnen, da wir wissen, daß das Licht im Quadrate der Entfernung abnimmt. Wir werden weiter unten sehen, wie wir aus ähnlichen Betrachtungen Schlüsse auch über den Aufbau jener größeren Welt zu ziehen versuchen können, in der unsere Sonne, wie gewaltig sie uns auch im vorigen Kapitel erschienen sein mag, doch nur ein in der großen Allgemeinheit verschwindendes Wesen ist.

Es ist ausgemessen worden, daß ein normaler Stern erster Größe 40,000millionenmal schwächer leuchtet als die Sonne (die Helligkeit des Sirius, die größer ist als die eines Normalsterns erster Größe, haben wir schon S. 316 angegeben). Dürften wir annehmen, daß ein solcher Stern in Wirklichkeit dieselbe strahlende Kraft besäße wie unser Tagesgestirn, so würde seine Entfernung von uns der Quadratwurzel aus der oben angegebenen Zahl entsprechen, ausgedrückt in Einheiten der Entfernung der Sonne von uns; das macht 200,000 Sonnenweiten. Um diese Entfernung in Kilometer umzurechnen, haben wir sie noch mit 149½ Millionen zu multiplizieren. Da ferner das Licht in einer Sekunde 300,000 km zurücklegt, so können wir durch diese Zahl dividieren, um zu erfahren, daß das Licht 100 Millionen Sekunden, d. h. etwas mehr als drei Jahre, braucht, um diese Strecke zu durchlaufen. So unermeßlich weit wären also unter den gemachten Voraussetzungen schon die hellsten, d. h. wahrscheinlich nächsten Sterne von uns entfernt, daß das blitzschnelle Licht drei Jahre von ihnen zu uns unterwegs ist. Wir werden später sehen, daß sich bei einigen möglich gewordenen direkten Messungen von Fixsternentfernungen diese aus der Helligkeit geschlossene Rechnung im allgemeinen bestätigt.

Es ist nun auch ohne weiteres verständlich, daß diese Gestirne für uns keine irgendwie meßbaren Durchmesser haben. Versetzten wir unsere Sonne in die Entfernung einer Sternweite, so würde ihr scheinbarer Durchmesser kaum den hundertsten Teil einer Bogensekunde betragen: ein Winkel, der auch in unseren besten Instrumenten nicht mehr wahrgenommen werden kann. Es ist dies immer die erste der vielen Enttäuschungen, die jeder erfährt, der mit großen Erwartungen zum ersten Male durch ein Fernrohr sieht: ihm erschienen die Sterne mit dem bloßen Auge viel größer. Vor Erfindung des Fernrohrs bemaß man die Durchmesser der Sterne nach Minuten, aber bereits Galilei fand mit seinem ersten nach dem Himmel gerichteten, noch so unvollkommenen Instrumente, daß man ihnen höchstens einen Durchmesser von 5″ geben dürfe; heute kann man behaupten, daß kein Fixstern in dieser Dimension mehr als 0,2″ mißt.

In dieser Beziehung ist eine ältere Idee des französischen Lichttheoretikers Fizeau praktisch von Stephan in Marseille angewendet worden, die in sehr sinnreicher Weise eine sonst nur als störend empfundene Eigenschaft der Fernrohre zur eventuellen Messung dieser minimalen Durchmesser verwendet. Es sind dies die in unserem Kapitel über die Werkzeuge des Astronomen besprochenen Beugungserscheinungen, durch die hauptsächlich die scheinbaren Durchmesser der Sterne entstehen, die auch in den besten Fernrohren noch übrigbleiben. Wir erklärten diese Erscheinung durch die Ablenkung, welche die Lichtstrahlen an den äußeren Begrenzungen der Linsen oder an den Diaphragmen im Inneren des Tubus erfahren.



Beugungserscheinungen.

Stephan erzeugt diese Beugung künstlich durch zwei schmale Spaltöffnungen, die er vor dem Objektiv anbringt. Es läßt sich theoretisch nachweisen, daß die durch den einen Spalt entstehende Ablenkung ihrer Größe nach verschieden sein muß von der durch den anderen Spalt hervorgebrachten, wenn die Lichtquelle einen Durchmesser hat. Jeder einzelne Spalt bringt nun anstatt der Beugungsringe, wie sie obenstehend mit a und b bezeichnet sind, Streifen wie bei c hervor. Trifft ein heller Streifen des einen Spaltbildes mit einem dunkeln des anderen zusammen, so wird offenbar eine gleichmäßige Beleuchtung des Feldes eintreten, im anderen Falle wird die Streifenbildung dagegen verstärkt. Das Eintreffen der einen oder anderen Erscheinung hängt, wie wieder theoretisch als notwendig befunden wurde, einerseits vom Durchmesser des Gestirns, von dem das Licht herkommt, anderseits von dem Abstande der Spaltöffnungen, und zwar beides in bekannter Weise, ab. Wird z. B. der Abstand der beiden Spalten in Millimetern angegeben, so findet man den Durchmesser des beobachteten Gestirns in Bogensekunden, indem man die Zahl 103 durch jene Millimeter dividiert. Man hat also nur die Spaltöffnungen gegeneinander zu verschieben, bis zum ersten Male nach ihrer Koinzidenz eine gleichmäßige Beleuchtung des Gesichtsfeldes eintritt, dann die vorhandene Entfernung der Spalte zu messen und die genannte Division vorzunehmen.

Es kommt darauf an, diese Entfernung der Spaltöffnungen möglichst groß werden zu lassen, wenn wir sehr kleine Durchmesser auf diese Weise bestimmen wollen, denn dadurch wird der Divisor groß, der resultierende Bruch für die Bogensekunden klein. Das Maximum dieser Entfernung hängt aber von der Objektivöffnung ab. Stephan konnte mit seinem

Fernrohre so weit gehen, daß der kleinste noch zu messende Winkel 0,16" betrug. Da aber bei keinem mit dieser Vorrichtung geprüften Fixsterne die Streifen verschwanden, wie weit man auch die Spalte voneinander entfernen mochte, so ist damit erwiesen, daß sie einen kleineren Durchmesser haben müssen als diesen Bruchteil einer Sekunde. Der amerikanische Physiker Michelson hat auf der Lick-Sternwarte nach dieser Methode die sehr kleinen Durchmesser der Jupitertrabanten gemessen und eine sehr gute Übereinstimmung mit den Resultaten der direkten Bestimmung erreicht; jedoch die Fixsterne zeigten sich auch hier durchmesserlos.

Eine Folge der für uns immer noch praktisch unendlich kleinen Durchmesser der Fixsterne ist auch ihr auffälliges Flimmern oder Szintillieren, wodurch sich diese fernen Welten gleich beim ersten Anblick sehr deutlich von den Planeten unterscheiden, wenn sich unsere Atmosphäre nicht in außergewöhnlicher Ruhe befindet. Namentlich in hellen Winternächten gibt dieses Funkeln, das schnelle Wechseln der Farbe durch alle Farbennuancen des Regenbogens hindurch, dem Sternenhimmel seinen unbeschreiblichen Reiz. Die Erscheinung rührt daher, daß praktisch immer nur ein einziger Strahl weißen Lichtes von einem noch so hellen Fixsterne zu uns gelangt (soweit es sich um weiße Sterne überhaupt handelt), und daß dieser Strahl in der ewig unruhigen Lufthülle unseres Planeten in jedem Augenblick in anderer Weise in seine Farbenkomponenten zerrissen wird, die dann einzeln unser Auge treffen. Bei den Himmelskörpern, die auch für das Auge eine merkliche Ausdehnung haben, ergänzt dabei ein benachbarter Strahl den anderen, sie leuchten in ruhigem Lichte, und es bleibt nur das sogenannte „Wallen" der Ränder übrig.

Montigny, der sich eingehend mit dem Studium der Szintillation befaßt hat, konstruierte ein Instrument, durch das bei schneller Rotation das Bild des Sternes in einen Farbenkreis verwandelt wird. Dessen Aussehen diente ihm mit Erfolg als Wetterprognose: man kann dadurch auf sehr einfache Weise die Bewegungszustände der höheren unzugänglichen Luftschichten ermitteln, von denen das Wetter der nächsten 24 Stunden meist abhängt. Bei starkem Funkeln der Sterne darf man in der Tat fast immer auf einen Wetterumschlag rechnen.

Wenn nun die Sterne erster Größe bereits drei Lichtjahre von uns entfernt sind: was für unergründliche Räume mögen dann zwischen uns und jenen verglimmenden Lichtpünktchen liegen, die uns nur durch die gigantische Kraft unserer mächtigsten Sehwerkzeuge zum Bewußtsein kommen? Das ist in derselben summarischen Weise, die wir vorhin anwandten, nicht schwer zu berechnen. Wir sahen, daß jede Größenklasse uns etwa 2,5 mal weniger Licht zusendet als die nächst vorangehende. Da nun die Leuchtkraft im Quadrat der Entfernung abnimmt, so ist jede Größenklasse um $\sqrt{2{,}5} = 1{,}6$ mal weiter von uns entfernt als die vorangehende. Multiplizieren wir so von einer zur anderen Größe weiter, so ergibt sich für die Grenze, bis zu der das unbewaffnete Auge noch in den Weltraum vorzudringen vermag, d. h. also bis zur sechsten Größe, bereits eine Entfernung von nahezu zehn Sternweiten. Wenn wir jede Sternweite wieder zu nur drei Lichtjahren rechnen, welche Zahl in der Tat als eine minimale für die Sterne der ersten Größe gelten muß (wir kommen eingehender hierauf zurück, wenn wir erst alle Daten gesammelt haben, die uns Aufschluß über den Aufbau des Fixsternreiches geben können), so ergibt sich, daß das heute von diesen Sternen in unser Auge dringende Licht, bei einer Geschwindigkeit von 300,000 km in der Sekunde, doch 30 Jahre unterwegs war. Für die kleinsten Sterne aber, die noch in Fernrohren sichtbar sind, oder die sich noch auf einer stundenlang exponierten Platte abbilden, würden etwa 3000 Lichtjahre herauskommen. Es ist ein müßiges Beginnen und nicht

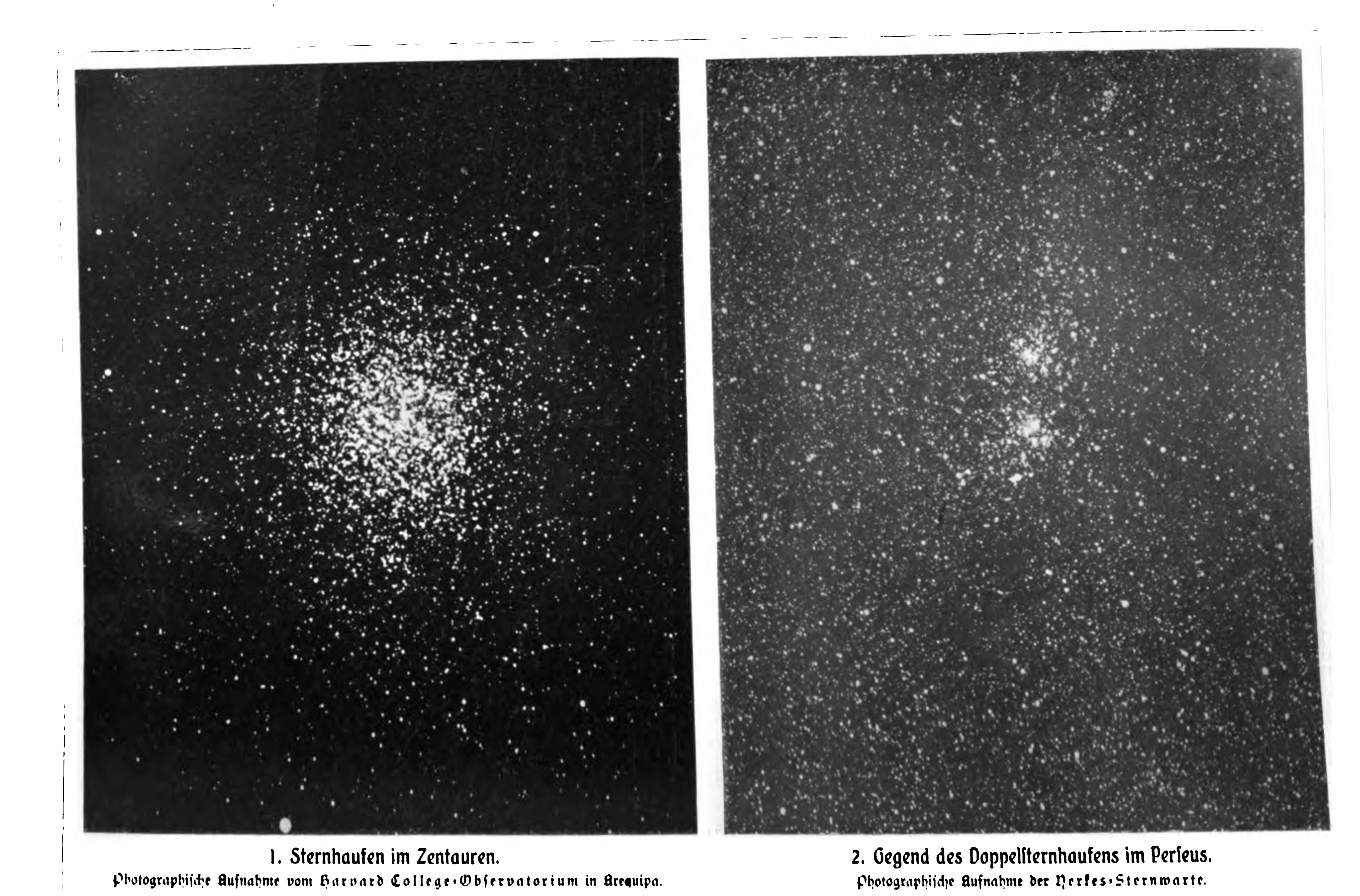
der Mühe wert, diese Zahl in menschliche Maße umzuwandeln, um Staunen zu erregen: wir würden unsere Begriffe vom Weltall und seiner Größe dadurch um nichts erweitern.

Es gibt aber noch eine andere Methode, allgemeine Aufschlüsse über die mittleren Entfernungen der Sterne zu erhalten. Sie gründet sich auf die Voraussetzung, daß alle Sterne ungefähr gleichweit voneinander abstehen, daß also, wenn in einem bestimmten Abstande, etwa dem der Sterne erster Größe, eine bestimmte Anzahl nachgewiesen worden ist, sich in dem doppelten Abstande so viel mehr Sterne befinden, wie eine Kugel vom Radius 2 mehr Rauminhalt hat als eine solche vom Radius 1, u. s. f. Da aber der Inhalt einer Kugel wie der Kubus seines Radius wächst, so muß es unter der gemachten Voraussetzung $2 \times 2 \times 2 = 8$mal mehr Sterne in der Entfernung 2 geben als in halb so großem Abstande. Man kann derart aus der Anzahl der Sterne auf ihre Entfernung schließen und diese nun mit der Lichtmenge vergleichen, die uns von ihnen zufließt. Auch so ist man zu ähnlich gewaltigen Entfernungen für die letzten Tiefen gelangt, die wir mit unseren raumdurchdringenden Riesengläsern noch zu erreichen vermögen. Eingehender werden wir diese Untersuchungen über Ausdehnung und Größe der Fixsternwelt bei Gelegenheit unserer Betrachtungen über die Milchstraße besprechen.

Da die scheinbare Verteilung der Sterne am Himmel keine gleichmäßige ist, so wird auch in Wirklichkeit der Weltraum ungleich dicht mit Weltkörpern besetzt sein. Wir sehen dies besonders deutlich in den Gegenden der Milchstraße, wo sich die Sterne so dicht zusammendrängen, daß sie für das bloße Auge den Eindruck eines einheitlichen Lichtschimmers hervorrufen. Im Fernrohr dagegen zeigt sich hier eine unzählbare Schar von kleinsten Sternen, die zu nahe beieinander stehen, um ohne Fernrohr auf unsere Netzhaut noch getrennte Eindrücke hervorbringen zu können. Auch sind diejenigen Sterne, die hauptsächlich den Lichtschimmer erzeugen, einzeln zu schwach. Man hat nachgewiesen, daß es vornehmlich die schwächsten Größenklassen sind, die den Milchstraßengürtel bilden. Die Abbildung auf Seite 51 stellt eine Partie der Milchstraße in der Gegend des Schwans nach einer Photographie dar, die Wolf in Heidelberg bei einer Belichtungsdauer von 13 Stunden erhalten hat. Hier ist der ganze Raum dicht gedrängt mit Sternen besetzt. Die Photographie enthält noch die Sterne bis zur 14.—15. Größe. Wir erkennen aber weiter auf der Aufnahme, daß dort ausgedehnte Gebiete nebelhaften Charakters auftreten, die wiederum mit den verstärkten Mitteln denselben Eindruck wie ein Teil der Milchstraße für das freie Auge machen. Links von der Mitte sehen wir namentlich den sogenannten „Nordamerikanebel", der uns bereits in dem Kapitel über Himmelsphotographie beschäftigt hat. Anfangs war es schwer zu entscheiden, ob nicht solche Nebelmassen den hauptsächlichsten Anteil an dem Aufbau der Milchstraße hätten, und nicht die Sterne selbst; auch galt es zu entscheiden, ob etwa dieser unauflösbare Rest nur der Gewalt unserer Fernrohre trotzte, in derselben Weise, wie es ehemals die kleinsten Sterne taten, die man doch heute getrennt sieht. Auf alle diese Fragen kommen wir zurück, wenn wir einen besseren Überblick über das unendlich weite und vielartige Gebiet gewonnen haben werden, das sich gleichwohl dem Auge des Beschauers so einfach darstellt.

Neben dieser rings um den Himmel wahrgenommenen Anhäufung der Sterne nach dem Gürtel der Milchstraße hin treten aber noch besondere Verdichtungen, sogenannte Sternhaufen, auf, von denen einzelne schon dem bloßen Auge auffallen, wie die berühmten Plejaden im Bilde des Stiers, die in der Abbildung auf Seite 325 dargestellt sind, wie sie in schwächeren Fernrohren erscheinen, und die Krippe im Krebs. Wir





1. Sternhaufen im Zentauren.
Photographische Aufnahme vom Harvard College-Observatorium in Arequipa.

2. Gegend des Doppelsternhaufens im Perseus.
Photographische Aufnahme der Yerkes-Sternwarte.

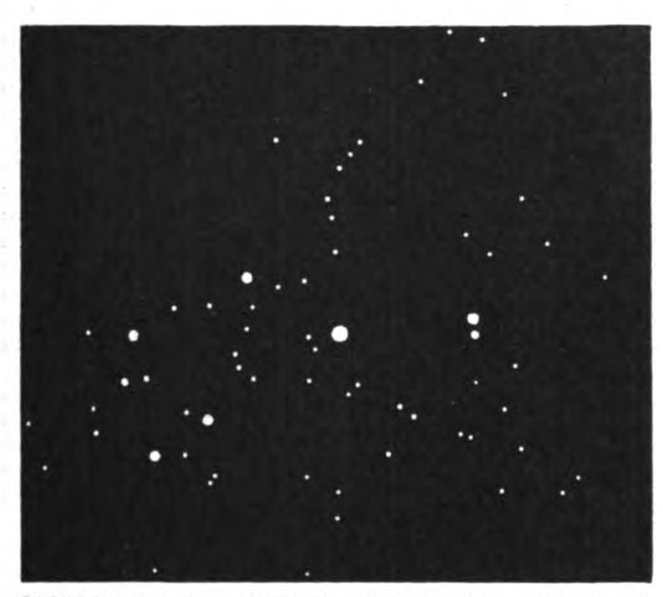
Sternhaufen.



3. Gegend bei γ im Schwan.
Photographische Aufnahme von M. Wolf, Heidelberg.

4. Die auf dem Gebiete der linksseitig wiedergegebenen Aufnahme mit bloßem Auge sichtbaren Sterne.

werden weiter unten zu entscheiden haben, ob hier wirklich zusammengehörige Gruppen sich von der übrigen Fülle trennen, oder ob wir an diesen Stellen nur zufällig viele Sterne hintereinander sehen. An einzelnen Stellen treten die Lichtpünktchen so nahe aneinander, daß sie kaum noch mit den stärksten Mitteln zu trennen sind; an anderen sehen wir ähnliche Lichtschimmer wie auf der vorhin herangezogenen Photographie, doch völlig getrennt von der Milchstraße. Einige derselben, wie der berühmte Nebel im Orion und der in der Andromeda, sind schon dem unbewaffneten Auge sichtbar, ohne sich jedoch in Sterne aufzulösen. Im Spektroskop hat man sie, wenigstens zum Teil, als wirkliche, glühende Dunstmassen erkannt.



Die Plejaden, in schwach vergrößernden Fernrohren gesehen. Vgl. Text, S. 324.

Indem wir nun die Eigenschaften dieser Fülle von Welten kennen zu lernen versuchen wollen, um uns schließlich ein Bild von dem großen Weltganzen zu machen, dem wir angehören, müssen wir von der Einheit zur Vielheit vordringen, uns also zuerst mit der physischen Beschaffenheit der einzelnen Sterne beschäftigen, um dann die Sternsysteme, die Doppel-, die vielfachen Sterne, ferner die Sternhaufen und Nebelflecke zu betrachten und schließlich das alles umfassende Weltsystem der Milchstraße wenigstens in matten Umrissen zu überschauen. Damit werden wir an der letzten Grenze unserer Erkenntnis vom Weltgebäude angelangt sein.

Mittlere Örter von Sternen für den Anfang des Jahres 1900.

Bezeichnung	Größe	Rektaszension	Jährliche Änderung	Deklination	Jährliche Änderung
α Andromedae	2,0	0h 3m 13,0s	+ 3,09s	+28° 32′ 18″	+19,9″
β Cassiopejae	2,1	3 50,3	+ 3,17	+58 35 53	+19,9
γ Pegasi	2,6	8 5,1	+ 3,08	+14 37 39	+20,0
α Cassiopejae var.	2,5	34 49,7	+ 3,37	+55 59 20	+19,8
β Ceti	2,0	38 34,2	+ 3,01	—18 32 9	+19,8
γ Cassiopejae	2,0	50 40,1	+ 3,58	+60 10 29	+19,6
β Andromedae	2,3	1 4 7,9	+ 3,35	+35 5 26	+19,2
ϑ Ceti	3,0	19 1,5	+ 3,00	— 8 41 57	+18,7
δ Cassiopejae	2,8	19 16,2	+ 3,88	+59 42 57	+18,8
α Ursae min.	2,0	22 33,1	+25,21	+88 46 27	+18,8
ζ Ceti	3,0	46 31,4	+ 2,96	—10 49 45	+17,9
β Arietis	2,8	49 6,8	+ 3,30	+20 19 9	+17,7
γ Andromedae	2,4	57 45,5	+ 3,66	+41 51 0	+17,4
α Arietis	2,0	2 1 32,0	+ 3,37	+22 59 23	+17,2
β Trianguli	3,0	3 35,5	+ 3,56	+34 30 52	+17,2
η Eridani	3,0	51 32,5	+ 2,93	— 9 17 46	+14,5

Bezeichnung	Größe	Rektaszension			Jährliche Änderung	Deklination			Jährliche Änderung
α Ceti	2,3	0^{h}	57^{m}	$3,0^{s}$	$+3,13^{s}$	$+\ 3^{\circ}$	41′	51″	+14,3″
γ Persei	3,0		57	33,0	+4,32	+53	6	54	+14,3
β Persei var.	2,9	3	1	39,5	+3,89	+40	34	14	+14,1
α Persei	2,0		17	10,8	+4,26	+49	30	19	+13,1
ε Eridani	3,0		28	13,1	+2,82	— 9	47	49	+12,3
δ Eridani	3,0		38	27,4	+2,87	—10	6	7	+12,4
η Tauri	3,0		41	32,3	+3,56	+23	47	46	+11,4
ζ Persei	3,0		47	50,6	+3,76	+31	35	12	+10,9
γ Eridani	3,0		53	21,8	+2,80	—13	47	35	+10,4
α Tauri	1	4	30	10,9	+3,44	+16	18	30	+ 7,5
ι Aurigae	3,0		50	28,8	+3,90	+33	0	29	+ 6,0
β Eridani	3,0	5	2	56,0	+2,95	— 5	12	56	+ 4,9
α Aurigae	1		9	18,0	+4,43	+45	53	47	+ 4,0
β Orionis	1	5	9	43,9	+2,88	— 8	19	2	+ 4,4
γ Orionis	2,0		19	46,0	+3,22	+ 6	15	33	+ 3,5
β Tauri	2,0		19	58,2	+3,79	+28	31	23	+ 3,3
δ Orionis var.	2,4		26	53,8	+3,06	+ 0	22	24	+ 2,9
α Leporis	3,0		28	19,1	+2,64	—17	53	38	+ 2,8
ε Orionis	2,0		31	8,3	+3,04	— 1	15	56	+ 2,5
ϰ Orionis	2,6		43	0,8	+2,84	— 9	42	18	+ 1,5
α Orionis var.	1,2		49	45,4	+3,25	+ 7	23	19	+ 0,9
β Aurigae	2,0		52	11,6	+4,40	+44	56	14	+ 0,7
ϑ Aurigae	3,0		52	54,1	+4,09	+37	12	20	+ 0,6
μ Geminorum	3,0	6	16	54,7	+3,63	+22	33	54	— 1,6
β Canis maj.	2,6		18	17,7	+2,64	—17	54	23	— 1,6
γ Geminorum	2,3		31	56,1	+3,47	+16	29	5	— 2,8
α Canis maj.	1		40	44,6	+2,64	—16	34	44	— 4,7
ε Canis maj.	1,6		54	41,7	+2,36	—28	50	10	— 4,7
δ Canis maj.	2,0	7	4	19,5	+2,44	—26	14	4	— 5,5
β Canis min.	3,0		21	43,7	+3,26	+ 8	29	27	— 7,0
α Geminorum	2,0		28	13,0	+3,84	+32	6	29	— 7,6
α Canis min.	1		34	4,1	+3,14	+ 5	28	53	— 9,0
β Geminorum	1,3		39	11,9	+3,68	+28	16	4	— 8,4
ι Navis	3,0	8	3	17,1	+2,55	—24	0	58	—10,2
ι Ursae maj.	3,0		52	21,9	+4,13	+48	26	4	—13,9
α Hydrae	2,0	9	22	40,4	+2,95	— 8	13	30	—15,4
ϑ Ursae maj.	3,0		26	10,3	+4,04	+52	7	59	—16,3
ε Leonis	3,0		40	10,6	+3,41	+24	14	5	—16,4
α Leonis	1,3	10	3	2,8	+3,20	+12	27	22	—17,5
ζ Leonis	3,0		11	7,8	+3,34	+23	54	57	—17,8
μ Ursae maj.	3,0		16	22,4	+3,59	+42	0	9	—18,0
β Ursae maj.	2,3		55	48,6	+3,65	+56	55	7	—19,2
α Ursae maj.	2,0		57	33,6	+3,74	+62	17	27	—19,4
δ Leonis	2,3	11	8	47,5	+3,20	+21	4	18	—19,7
β Leonis	2,0		43	57,5	+3,06	+15	7	52	—20,1
γ Ursae maj.	2,3		48	34,4	+3,18	+54	15	3	—20,0
ε Corvi	3,0	12	4	58,8	+3,08	—22	3	49	—20,0
γ Corvi	2,0		10	39,7	+3,08	—16	59	12	—20,0
δ Corvi	2,3		24	41,4	+3,10	—15	57	32	—20,1
β Corvi	2,3		29	7,9	+3,14	—22	50	38	—19,9
γ Virginis	3		36	35,6	+3,04	— 0	25	4	—19,8
ε Ursae maj.	2,0		49	37,8	+2,65	+56	30	8	—19,6
δ Virginis	3,0		50	33,9	+3,02	+ 3	56	27	—19,6
12 Canum ven.	2,9		51	21,0	+2,81	+38	51	30	—19,5
ε Virginis	2,6		57	11,9	+2,99	+11	29	48	—19,4
ζ Ursae maj.	2,1	13	19	54,0	+2,42	+55	26	51	—18,9

Bezeichnung	Größe	Rektaszension			Jährliche Änderung	Deklination			Jährliche Änderung
α Virginis	1	0^h	19^m	$55,4^s$	$+3,15^s$	-10^0	$38'$	$22''$	$-18,9''$
η Ursae maj.	2,0		43	36,1	+2,37	+49	48	44	—18,1
η Bootis	3,0		49	55,4	+2,86	+18	53	56	—18,1
α Bootis	1	14	11	6,0	+2,73	+19	42	11	—18,8
γ Bootis	2,9		28	3,1	+2,42	+38	44	44	—15,9
α Librae	2,3		45	20,7	+3,31	—15	37	36	—15,1
β Ursae min.	2,0		50	59,6	—0,22	+74	33	51	—14,7
β Bootis	3,0	14	58	10,7	+2,26	+40	47	5	—14,3
δ Bootis	3,0	15	11	28,3	+2,42	+33	41	16	—13,6
β Librae	2,0		11	37,5	+3,22	— 9	0	51	—13,5
γ Ursae min.	3,0		20	53,3	—0,12	+72	11	24	—12,8
ι Draconis	3,0		22	42,2	+1,33	+59	18	59	—12,7
α Coronae bor.	2,0		30	27,2	+2,54	+27	3	4	—12,3
α Serpentis	2,3		39	20,5	+2,95	+ 6	44	24	—11,5
δ Scorpii	2,3		54	25,1	+3,54	—22	20	15	—10,5
β Scorpii	2,0		59	37,2	+3,48	—19	31	55	—10,1
δ Ophiuchi	3,0	16	9	6,2	+3,14	— 3	26	13	— 9,5
η Draconis	2,6		22	38,5	+0,81	+61	44	25	— 8,2
α Scorpii	1,3		23	16,4	+3,67	—26	12	38	— 8,3
β Herculis	2,3		25	55,2	+2,58	+21	42	26	— 8,0
ζ Ophiuchi	2,6		31	39,1	+3,30	—10	21	53	— 7,5
ζ Herculis	2,6		37	31,0	+2,26	+31	47	2	— 6,7
η Ophiuchi	2,3	17	4	38,5	+3,44	—15	36	5	— 4,7
ζ Draconis	3,0		8	29,8	+0,16	+65	50	16	— 4,4
δ Herculis	3,0		10	55,4	+2,46	+24	57	25	— 4,4
β Draconis	2,6		28	10,4	+1,35	+52	22	31	— 2,8
α Ophiuchi	2,0	17	30	17,5	+2,78	+12	37	58	— 2,8
β Ophiuchi	3,0		38	31,9	+2,96	+ 4	36	32	— 1,7
γ Draconis	2,3		54	17,0	+1,39	+51	30	2	— 0,5
η Serpentis	3,0	18	16	8,0	+3,10	— 2	55	29	+ 0,7
α Lyrae	1		33	33,2	+2,03	+38	41	26	+ 3,2
σ Sagittarii	2,3		49	3,9	+3,72	—26	25	16	+ 4,2
ζ Aquilae	3,0	19	0	48,8	+2,75	+13	42	53	+ 5,2
δ Draconis	3,0		12	32,0	+0,02	+67	29	8	+ 6,3
β Cygni	3,0		26	41,3	+2,42	+27	44	58	+ 7,4
γ Aquilae	3,0		41	30,3	+2,85	+10	22	10	+ 8,6
δ Cygni	2,8		41	51,0	+1,88	+44	53	11	+ 8,6
α Aquilae	1,3		45	54,2	+2,93	+ 8	36	14	+ 9,3
ϑ Aquilae	3,0	20	6	8,7	+3,09	— 1	7	6	+10,5
β Capricorni	3,0		15	23,6	+3,37	—15	5	50	+11,2
γ Cygni	2,4		18	38,4	+2,15	+39	56	12	+11,4
α Cygni	1,6		38	1,4	+2,04	+44	55	22	+12,8
ε Cygni	2,6		42	9,9	+2,43	+33	35	44	+13,4
ζ Cygni	3,0	21	8	40,8	+2,55	+29	48	59	+14,6
α Cephei	2,6		16	11,6	+1,43	+62	9	42	+15,2
β Aquarii	3,0		26	17,7	+3,16	— 6	0	41	+15,7
β Cephei	3,0		27	22,3	+0,79	+70	7	18	+15,8
ε Pegasi	2,3		39	16,5	+2,95	+ 9	24	59	+16,4
δ Capricorni	3,0		41	31,3	+3,32	—16	34	53	+16,2
α Aquarii	3,0	22	0	38,8	+3,08	— 0	48	21	+17,4
η Pegasi	3,0		38	18,8	+2,81	+29	41	53	+18,8
δ Aquarii	3,0		49	20,6	+3,19	—16	21	10	+19,1
α Piscis austr.	1,3		52	7,5	+3,32	—30	9	9	+19,0
β Pegasi var.	2,4		58	55,5	+2,90	+27	32	25	+19,5
α Pegasi	2,0		59	46,7	+2,98	+14	40	2	+19,3

15. Die spektroskopische Reihung der Sterne.

Daß die Fixsterne, abweichend von allen bisher betrachteten Himmelskörpern mit Ausnahme der Sonne, ausschließlich in eigenem Lichte leuchten, war von vornherein zweifellos, auch lange bevor das Spektroskop den sicheren Beweis dafür erbrachte. Denn woher sonst als durch eigene Kraft konnte diese Lichtfülle kommen, die, aus einem Punkte ausstrahlend, unter keinen Umständen eine Reflexwirkung war. Die Millionen von Sternen, die uns rings umgeben, mußten also selbstleuchtende Weltkörper, Sonnen, sein. Es ist deshalb von größtem Interesse, zu erfahren, inwieweit diese Sonnen der unserigen ähnlich sind, inwieweit wir, die wir uns im Besitz einer ungeheuern Welt dünken, in einer größeren Welt von Millionen gleichartiger Geschöpfe verschwinden.

Daß die Sonnen jenseits unserer Planetenwelt nicht alle der unserigen gleichen konnten, bewiesen schon ihre verschiedenen Farben, die auf verschiedene physische Zustände, insbesondere verschiedene Wärmegrade hindeuteten. Hier war nun das Spektroskop recht am Platze, und es hat wirklich in bezug auf die Erschließung dieser allerfernsten Welt der Fixsterne Wunderdinge geleistet, die auch der phantasiereichste Kopf um die Mitte unseres Jahrhunderts nicht geahnt hätte

Zunächst zeigte es sich, daß in der Tat das Spektrum der meisten Sterne eine überraschende Ähnlichkeit mit dem der Sonne aufweist: es ist ein kontinuierliches Farbenband vorhanden, das meist von zahlreichen dunkeln Linien durchzogen wird. Aber nicht durchweg ist diese Übereinstimmung zu bemerken, wie man denn in dieser ungeheuern Vielheit von Welten von vorherein auf eine reiche Mannigfaltigkeit rechnen konnte. Die bei weitem größte Anzahl der spektroskopisch untersuchten Sterne läßt sich in zwei Hauptklassen trennen, von denen die erste und zahlreichste nach ihrem charakteristischen Vertreter Siriussterne, die andere nach demselben Prinzip Sonnensterne genannt worden sind. Die Siriussterne sind ganz weiß oder bläulichweiß, die Sonnensterne etwas gelblich; auch unser Sonnenlicht ist bekanntlich ein wenig gelb gefärbt. Diesen beiden Klassen schließt sich noch eine dritte, die der roten Sterne, an, die wiederum bedeutend ärmer an Individuen ist als die zweite. Der kürzlich (1907) verstorbene, hier schon wiederholt erwähnte Vogel in Potsdam hatte sich in neuerer Zeit, von Scheiner und Müller unterstützt, mit dem Studium der Fixsternspektra fast ausschließlich befaßt. Er führte noch einige, wenige Individuen zählende Unterklassen ein, so daß man von einer Klasse Ia, Ib, Ic, dann von IIa und IIb und endlich von IIIa und IIIb spricht. Wir werden diese gleich näher unterscheiden lernen. Von diesen Klassen entspricht Ia den eigentlichen Siriussternen, IIa den Sonnensternen. 4051 in Potsdam näher untersuchte Sterne ordneten sich wie folgt in die betreffenden Klassen: Klasse Ia hat davon 2165 Sterne, Klasse IIa 1240 Sterne, Klasse IIIa 288 Sterne, Klasse IIIb 9 Sterne. Die zum Teil sehr auffälligen Unterschiede, die diese Klassen charakterisieren, waren meist schon Fraunhofer bekannt, der nur keine weiteren Folgerungen daraus zu ziehen vermochte; seine darauf bezüglichen Untersuchungen sind 1817 veröffentlicht worden. Wir müssen bis in die sechziger Jahre des vergangenen Jahrhunderts zurückgehen, um erst in Secchi wieder, nachdem inzwischen die Bedeutung der Fraunhoferschen Linien erkannt worden war, einem Forscher zu begegnen, der sich mit der spektroskopischen Untersuchung des Sternhimmels regelmäßig beschäftigte. Er führte zuerst Klassenbezeichnungen ein, die dann von Vogel, wie oben angeführt,

erweitert worden sind. Seither haben sich, außer den letztgenannten, d'Arrest, Dunér, Kövesligethy und namentlich Pickering in Cambridge (Nordamerika) mit Untersuchungen über die Spektra der Fixsterne hervorragend beschäftigt. Von des letzteren großartigem Unternehmen einer allgemeinen spektroskopischen Durchmusterung des Himmels, die er mit Hilfe seines großen Objektivprismas seit Jahren fortsetzt, haben wir schon in dem Kapitel über Spektroskopie gesprochen.

Die drei Hauptklassen mit ihren Unterabteilungen charakterisiert Scheiner in folgender Weise (s. auch die farbige Spektraltafel bei S. 52):

Klasse I.

Spektra, in denen die Metallinien nur äußerst zart auftreten oder gar nicht zu erkennen sind und die brechbareren Teile des Spektrums, Blau und Violett, durch ihre Intensität besonders auffallen.

a) Spektra, in denen außer den sehr schwachen Metallinien die Wasserstofflinien sichtbar sind und sich durch ihre Breite und Intensität auszeichnen (hierher gehören die meisten weißen Sterne, Sirius, Wega).

b) Spektra, in denen neben den Wasserstofflinien die des Heliums auftreten (daher Heliumsterne genannt), aber auch metallische Linien, wie die des Kalziums, Magnesiums, Natriums und Eisens erkennbar sind (β, γ, δ, ε Orionis).

c) Spektra, in denen die Wasserstofflinien hell erscheinen neben schwachen Absorptionslinien (β Lyrae, γ Cassiopejae).

Klasse II.

Spektra, in denen die Metallinien sehr deutlich auftreten. Die brechbareren Teile des Spektrums sind im Vergleich zur vorigen Klasse matt; in den weniger brechbaren Teilen kommen zuweilen schwache Bänder vor.

a) Spektra mit sehr zahlreichen Metallinien, die besonders im Gelb und Grün durch ihre Intensität leicht kenntlich werden. Die Wasserstofflinien sind meist kräftig, aber nie so auffallend verbreitert wie bei Klasse Ia. In einigen Sternen sind sie jedoch schwach, und bei solchen sind dann gewöhnlich in den weniger brechbaren Teilen durch zahlreiche dichtstehende Linien entstandene schwache Bänder zu erkennen (Capella, Arktur, Aldebaran).

b) Spektra, in denen außer dunkeln Linien und einzelnen schwachen Bändern mehrere helle Linien erscheinen (T Coronae; auch sind hierzu höchstwahrscheinlich die von Wolf und Rayet beobachteten Sterne im Schwan sowie der veränderliche R Geminorum zu rechnen, obgleich wegen der Lichtschwäche dieser letztgenannten Sterne wohl einzelne dunkle Bänder im Rot und Gelb beobachtet wurden, dunkle Linien jedoch nie vermutet werden konnten).

Klasse III.

Spektra, in denen außer dunkeln Linien noch zahlreiche dunkle Bänder in allen Teilen des Spektrums vorkommen und die brechbareren Teile des Spektrums auffallend schwach sind.

a) Außer den dunkeln Linien sind in den Spektren Bänder zu erkennen, von denen die auffallendsten nach dem Violett dunkel und scharf begrenzt, nach dem Rot matt und verwaschen erscheinen (α Herkulis, α Orionis, β Pegasi).

b) Spektra, in denen dunkle, sehr breite Bänder zu erkennen sind, deren Intensitätszunahme entgegengesetzt ist wie bei der vorhergehenden Unterabteilung, bei denen also die am stärksten hervortretenden Bänder nach dem Rot scharf begrenzt und am dunkelsten sind, nach dem Violett dagegen allmählich erblassen. (Bisher sind nur schwächere Sterne der Art bekannt.)

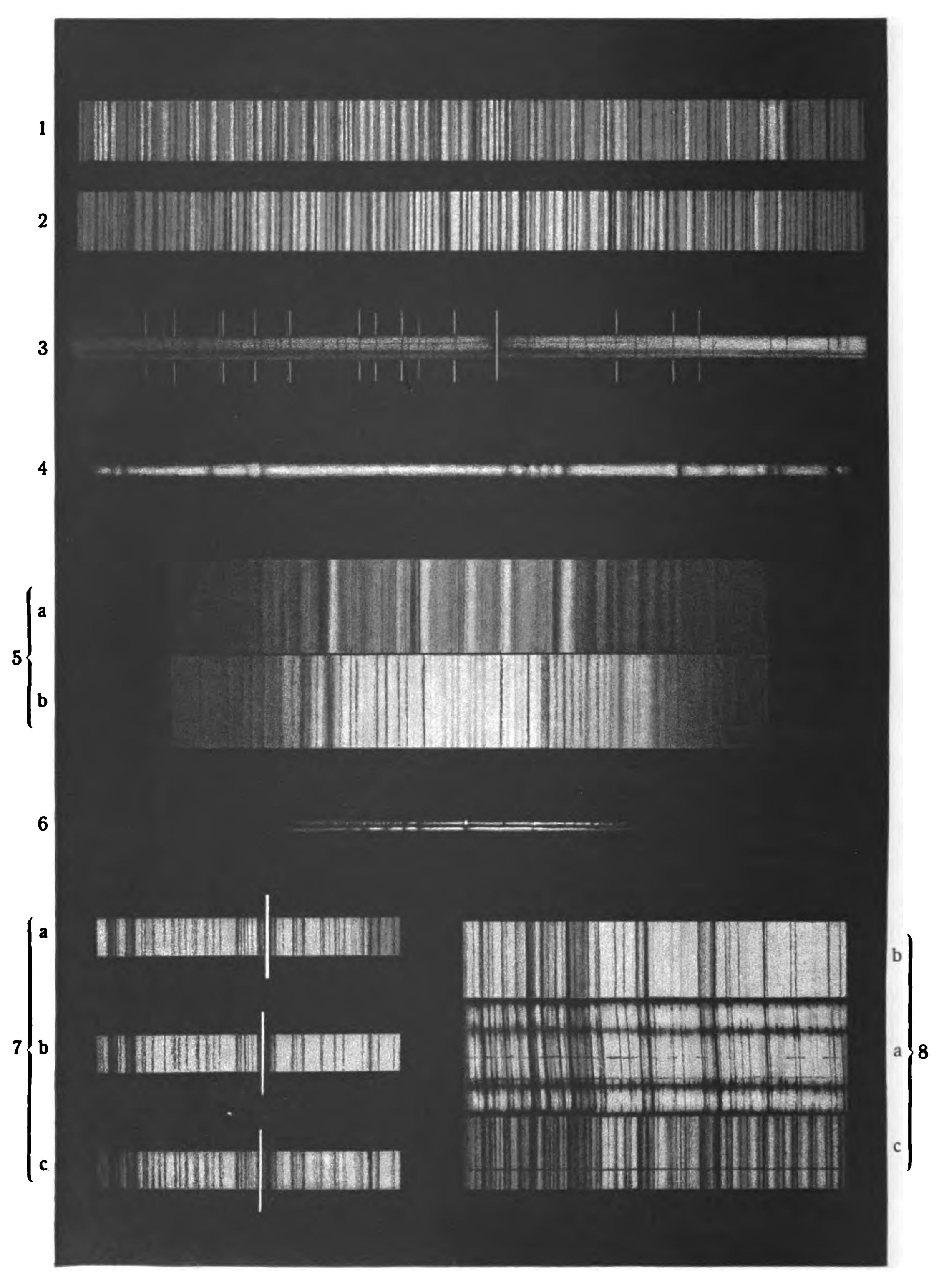
Wenden wir uns zunächst den weißen oder bläulichen Siriussternen zu, so sehen wir, daß sie sich von den gelben Sonnensternen hauptsächlich durch ein kräftigeres Hervortreten der Wasserstofflinien auf Kosten der Metallinien, die aber nicht ganz fehlen, unterscheiden. Es gibt innerhalb dieser Klasse so viel Abstufungen dieser Intensitätsunterschiede, daß ein ziemlich ununterbrochener Übergang von den eigentlichen Siriussternen zu den Sonnensternen durch eine Reihe von Individuen gebildet werden kann.

Das Vorherrschen des Wasserstoffes in den Atmosphären der Siriussterne ist also ihr charakteristisches Merkmal. Wir können uns, wenn wir eine Parallele mit unserer Sonne ziehen wollen, vorstellen, die Chromosphäre sei bei diesen Sternen sehr viel ausgedehnter und überlagere in so dichten Schichten die darunterliegende metallische Atmosphäre, daß deren Licht zum großen Teil verschluckt wird. Die besonders große Helligkeit des Spektrums nach seiner violetten Seite hin verrät uns den höheren Hitzegrad dieser Sterne im Vergleich zu den Sonnensternen. Es muß hier gleich ins Auge gefaßt werden, daß dieser Hitzegrad im inneren Zusammenhange mit dem Vorhandensein jener ausgedehnten Atmosphären gedacht werden kann, eine Vermutung, die sich im Verlauf unserer weiteren Betrachtungen immer mehr bestätigen wird.

Bei einigen Sternen dieser Art scheinen sogar die Atmosphären so große Dimensionen anzunehmen, daß der das kontinuierliche Spektrum gebende Kern im Verhältnis zur Atmosphäre klein genannt werden muß. Die Umkehrung der Wasserstofflinien, die wir bei der Sonne nur sehen können, wenn es uns gelingt, den Spalt des Spektroskops ausschließlich über der dünnen Chromosphärenschicht zu halten, muß dann eine dauernde Erscheinung werden, weil mehr Strahlen von der glühenden Lufthülle allein, die helle Linien erzeugt, zu uns gelangen als von dem Teile, hinter dem noch der Kern liegt, dessen Licht an sich bei seiner Durchdringung der Atmosphäre die dunkeln Fraunhoferschen Linien hervorbringen würde. Dieser Fall, bei dem also die hellen Wasserstofflinien obsiegen, ist zwar sehr selten (man hat ihn am Himmel bis jetzt nur zweimal wahrgenommen), aber es spricht für die richtige Deutung in dem angegebenen Sinne die Tatsache, daß bei diesen Sternen immer die bekannte Heliumlinie D_3 gleichfalls hell auftritt. Die vermuteten großen Dunsthüllen sind also ganz ähnlich zusammengesetzt wie die äußersten Hüllen der Sonne, in denen wir das Helium zuerst entdeckten.

Zu den extremsten Sternen der Klasse Ia zählt Scheiner *α* Leonis, *β* Librae und *α* Ophiuchi, in deren Spektrum über weite Strecken hin keine anderen als Wasserstofflinien entdeckt werden können. Sirius selbst vertritt bereits ein mittleres Stadium: Metallinien sind deutlich zu erkennen, aber sie unterscheiden sich namentlich in ihren Intensitätsverhältnissen wesentlich von den auf der Sonne vorkommenden, so daß man auf einen heißeren Zustand der Dunsthülle dieses Sternes und seines nächsten Verwandten schließen darf, als wir ihn auf dem Zentralstern unseres Systems antreffen.

Unter den Metallinien herrschen, wie auch auf der Sonne, die des Eisens bei sämtlichen Sternen vor; dieses wichtige Metall hat also überall den größten Anteil am Aufbau



SPEKTREN VON HIMMELSKÖRPERN.

Vornehmlich auf Grund von photographischen Aufnahmen des Potsdamer astrophysikalischen Observatoriums.

Spektren von Himmelskörpern.

1. Spektrum von α Aurigae (Capella), photographiert am 24. Oktober 1888.
2. Spektrum von α Bootis (Arcturus).
3. Spektrum des Sirius (α Canis maj.) am 22. März 1891, mit übergelagertem Vergleichspektrum des Eisens.
4. Spektrum von β Lyrae am 22. Dezember 1893.
5. a. Spektrum der Nova Aurigae von 1892,
   b. „ des Mondes zum Vergleich.
6. Spektrum der Mira (o) Ceti am 22. Februar 1896.
   (Darunter das Vergleichsspektrum von β Eridani.)
7. Linienverschiebungen im Spektrum von α Aurigae (Capella) infolge der Bewegung im Visionsradius und Einfluß der Erdbewegung auf die Größe der Verschiebungen.
   a. Bewegung der Erde der Sternbewegung entgegen,
   b. „ „ „ senkrecht zur Gesichtslinie,
   c. „ „ „ in gleicher Richtung wie die Sternbewegung.
8. Spektrum des Saturn, photographiert von W. W. Campbell auf der Lick-Sternwarte am 16. Mai 1895.
   a. Spektrum der Saturnscheibe und der Ringansen,
   b, c. Mond als Vergleichsspektrum.

Spektren von Himmelskörpern.

1. Spektrum von α Aurigae (Capella), photographiert am 24. Oktober 1888.
2. Spektrum von α Bootis (Arcturus).
3. Spektrum des Sirius (α Canis maj.) am 22. März 1891, mit übergelagertem Vergleichspektrum des Eisens.
4. Spektrum von β Lyrae am 22. Dezember 1893.
5. a. Spektrum der Nova Aurigae von 1892.
   b. „ des Mondes zum Vergleich.
6. Spektrum der Mira (o) Ceti am 22. Februar 1896.
   (Darunter das Vergleichsspektrum von β Eridani.)
7. Linienverschiebungen im Spektrum von α Aurigae (Capella) infolge der Bewegung im Visionsradius und Einfluß der Erdbewegung auf die Größe der Verschiebungen.
   a. Bewegung der Erde der Sternbewegung entgegen.
   b. „ „ „ senkrecht zur Gesichtslinie.
   c. „ „ „ in gleicher Richtung wie die Sternbewegung.
8. Spektrum des Saturn, photographiert von W. W. Campbell auf der Lick-Sternwarte am 16. Mai 1895.
   a. Spektrum der Saturnscheibe und der Ringansen.
   b, c. Mond als Vergleichsspektrum.

Vornehmlich auf (

der Welten genommen und wetteifert in dieser Beziehung nur mit dem Wasserstoff. Um Aufschluß über die allgemeine physische Beschaffenheit der Sterne zu gewinnen, müssen wir auf die besondere Gruppierung und die Art der Linien achtgeben, denn nur die allgemeinen Zustände, die hierdurch verraten werden, interessieren uns zunächst.

Wir haben schon von den Übergängen gesprochen, die dieses allgemeine Aussehen des Spektrums einer Reihe von Sternen zwischen der ersten und zweiten Klasse zeigt. An der Grenze steht, nach Scheiner, der erste Stern im Adler (Altair), dessen Spektrum wie das der Sonne aussieht, wenn man dessen Linien alle zu Banden ineinander verschwimmen läßt. Die Gruppierung scheint also fast identisch zu sein, d. h. es werden hier im wesentlichen dieselben Stoffe auch in ähnlichen Mischungsverhältnissen vorhanden sein wie auf der Sonne, nur existieren sie dort unter verschiedenen physischen Verhältnissen: Druck und Temperatur sind andere, wahrscheinlich höhere.

Die Heliumsterne sind im Sternbilde des Orion vorherrschend; man glaubte sie zuerst nur auf dieses bestimmte Gebiet des Weltgebäudes beschränkt, aber man hat später doch auch in allen anderen Teilen des Himmels Vertreter dieser Spektralklasse gefunden. Wir können uns vorstellen, daß bei ihnen die Chromosphäre, die ja viel Helium enthält, besonders ausgedehnt ist, was auf einen höheren Hitzegrad und also ein früheres Entwickelungsstadium schließen läßt.

Gehen wir zur zweiten Spektralklasse über, so müssen wir staunen über die völlige Übereinstimmung, die eine große Reihe von für uns unermeßlich weit entfernten Welten in ihrem Aufbau sowohl wie in ihrem physischen Zustande mit unserer Sonne offenbaren. Der vorzüglichste Repräsentant dieser Gruppe ist die schöne Capella, der erste Stern im Fuhrmann, der in den Sommernächten am nördlichen Horizont langsam hinzieht, ohne für unsere Breiten jemals unterzugehen. Scheiner maß 290 Linien im Spektrum dieses Sternes, die ohne jede Ausnahme, sowohl was die Lage wie auch die Intensitätsverhältnisse anbetrifft, mit Sonnenlinien übereinstimmen. Die mit großer Genauigkeit ausgeführten Messungen ergeben nur in einzelnen Fällen einen Unterschied in der zweiten Dezimale der Millionstel Millimeter; sehr viele Linien koinzidierten bis in die dritte Dezimale, sonach bis zur letzten Grenze der selbst bei der Sonne erreichbaren Genauigkeit. Capella ist also eine genau übereinstimmende Kopie unserer Sonne: sie muß aus denselben Stoffen erzeugt, denselben physikalischen Gesetzen, denselben Werdeschicksalen unterworfen sein wie das Gestirn, dem wir unser ganzes irdisches Wohl und Wehe verdanken.

Auch andere Sterne stimmen in ihrem Spektralcharakter völlig mit Capella und mit unserer Sonne überein. Auf unserer hier beigegebenen Tafel mit „Spektren von Himmelskörpern" haben wir dicht unter dem Spektrum der Capella das von Arktur (α Bootis), beide in Potsdam aufgenommen, wiedergegeben. Die Übereinstimmung ist so groß, daß man beide für etwas verschieden kräftig gedruckte Kopien ein und derselben Aufnahme halten könnte.

Auch die anderen ziemlich zahlreichen Sterne dieser Klasse IIa behalten im großen und ganzen denselben Liniencharakter bei, aber immer häufiger treten Bänder, namentlich im violetten Teile auf, der sich mehr und mehr verdunkelt. Die Sterne selbst nehmen statt der gelblichen eine rötlichere Färbung an, bis wir zu den eigentlichen roten Sternen der dritten Klasse gelangen. Jene Bänder entstehen durch das Ineinanderschmelzen einer Anzahl in Gruppen zusammenstehender Absorptionslinien, sobald diese sich verbreitern. Diese Verbreiterung aber ist eine Folge wachsender Temperaturdifferenz zwischen dem leuchtenden

Kern und der absorbierenden Hülle. Wäre diese Hülle allein vorhanden und selbst leuchtend, so brächte sie helle Linien hervor; je weniger sie nun dazu imstande ist, d. h. je kälter sie wird, desto weniger in ihr selbst erzeugte Strahlen können der Absorption entgegenwirken, desto kräftiger müssen also die dunkeln Linien hervortreten. Also auch abgesehen von der allgemeinen Färbung beweist hier der Charakter der Linien, daß die Temperatur der Atmosphären der Sterne vom ersten bis zum dritten Typus regelmäßig abnimmt.

Nun tritt aber noch eine andere außerordentlich bezeichnende Erscheinung im Spektrum dieser roten Sterne auf: Banden, die nur nach dem einen Ende des Spektrums hin sich allmählich verlieren, nach dem anderen dagegen scharf abgeschnitten erscheinen. Solche Banden entstehen bei chemischen Verbindungen und sind namentlich für die Oxyde charakteristisch. Auf der Sonne treten sie in den Flecken auf, und wir haben sie auch dort für die Anzeichen von Verdichtungsprodukten anzusehen, die durch Abkühlungsprozesse entstehen. Bei den roten Sternen dieser dritten Klasse scheinen also ausgedehnte Fleckenregionen die Oberfläche zu beherrschen. Diese Vermutung bestätigt sich durch die Eigenart vieler dieser Sonnen, ihre Leuchtkraft in mehr oder weniger regelmäßigen Perioden zu verändern: fast alle sogenannten veränderlichen Sterne (s. I, Kapitel 19) gehören dieser Spektralklasse an. In der Tat ist auch unsere Sonne bereits ein veränderlicher Stern, dessen Periode zu den Zeiten, in denen eine große Fleckengruppe seine Oberfläche überzieht, gleich der Umdrehungszeit des Sonnenkörpers um seine Polarachse ist, während außerdem noch eine elfjährige Periode bemerkbar wird, in der die Erscheinungen und Vorgänge innerhalb dieser Periode an Intensität ab- und zunehmen. Aus Fixsternentfernung würde man allerdings diese Schwankungen nicht mehr wahrnehmen können. Wir müssen deshalb aus dem Vorhergehenden schließen, daß es ein Stadium in der Entwickelung der Himmelskörper gibt, wo die Fleckenbildung immer größere Dimensionen annimmt, bis endlich eine völlige Verdunkelung eintritt. Dunkle, unsichtbare Sterne werden deshalb im Weltgebäude neben den sichtbaren vorhanden sein; in einzelnen Fällen hat man ihre Spuren wirklich entdeckt.

Bei einigen wenigen nicht sehr hellen Sternen, aus denen sich die Klasse IIIb zusammensetzt, hat man aber nicht nur den allgemeinen Spektralcharakter der chemischen Verbindungen, sondern eine ganz bestimmte erkannt, die der Kohlenwasserstoffe, die auch sonst im Weltall, namentlich bei den Kometen, eine hervorragende Rolle spielen. Diese Sterne scheinen die letzte Entwickelungsstufe darzustellen, die wir spektroskopisch verfolgen können.

Wir sind bei der spektroskopischen Reihung der Gestirne, die wir hier nur im kurzen Überblick betrachteten, indem wir die speziellen Ergebnisse den folgenden Einzelschilderungen überlassen, unwiderstehlich zu dem Gedanken an eine Entwickelung der Gestirne hingetrieben worden. Dieser Gedanke ist neu in unseren bisherigen Betrachtungen, denn wir hatten es uns vorderhand zur ausschließlichen Aufgabe gestellt, die Himmelskörper so zu schildern, wie sie sind, um erst später, wenn wir alle betreffenden Erkenntnisse gesammelt haben, von dem Zusammenhange, von der Entwickelung des Ganzen nach den einheitlichen Gesetzen, denen wir überall begegnet sein werden, ein vollkommeneres Bild darzustellen. Hier aber müssen wir, wenn wir nicht gewaltsam den Geist aus der Materie treiben wollen, diesen großen Entwickelungsgedanken, der sich uns aufdrängt, wenigstens als Hypothese voranschicken, um beim weiteren Sammeln von Tatsachen zu sehen, inwieweit sie sich diesem Gedanken einfügen. Wir nehmen also an, die Weltkörper seien Produkte einer allmählichen Verdichtung zunächst gasförmiger Materie, die infolge der unbedingt eintretenden und immer

weiter fortschreitenden Abkühlung in den flüssigen und schließlich in den festen Zustand übergeht. Da kein Zweifel über die große, den Weltraum erfüllende Kälte möglich ist, so ist ein im allgemeinen zur Abkühlung hinstrebender Entwickelungsgang der Sterne eine physikalische Notwendigkeit, der nur eine Zeitlang durch die Arbeit der Verdichtung, die wir auch heute noch für die Sonne annehmen müssen, einen Aufenthalt erfahren kann. Wenn wir von den Sternen vom Typus IIb zunächst absehen, bei denen gleichfalls helle, aber vorübergehenden Zuständen ihre Entstehung verdankende Linien auftreten, so fanden wir in der Tat, daß nur bei den Sternen mit sehr hellem violetten Teile des Spektrums, wodurch sich ihr hoher Hitzegrad verrät, helle Linien als Anzeichen sehr großer Atmosphären vorkommen. Die Wasserstoffatmosphäre beherrscht hier noch völlig den Gesamtcharakter des Weltkörpers. Nach einiger Abkühlung gelangt er in das Stadium der gelben Sterne, dem unsere auf der Mittelstufe der Entwickelung stehende Sonne angehört. Die Atmosphären sind bereits kleiner und kühler geworden, die metallischen Dunsthüllen treten mehr und mehr an die Oberfläche. Abkühlungsprodukte, im speziellen Falle unseres Zentralgestirnes Sonnenflecke genannt, verdunkeln in zunehmendem Maße die Oberfläche des immer rötlicher strahlenden Gestirns; chemische Verbindungen schlagen sich nieder, wohl gar Flüssiges mag sich mit der Zeit erhalten können und Schlacken auf dem Flüssigen: der Körper hört auf zu leuchten, er ist aus dem Stadium einer Sonne in das eines Planeten übergegangen, soweit es sich um seinen physischen Zustand handelt.

Wollen wir aus diesem Gesichtspunkte der Entwickelung heraus von vornherein unseren gewaltigen Stoff ordnen, um ihn sogleich durch einen geistigen Faden zusammenzuhalten, dann müssen wir die Fixsterne selbst zunächst wieder verlassen, um uns jenen Weltkörpern zuzuwenden, die nur aus einer Atmosphäre ohne jeden leuchtenden Kern bestehen, die also nur helle Linien im Spektroskop zeigen. Diese sogenannten Nebelflecke bezeichnen offenbar nach der oben vorausgesetzten Ansicht das früheste Stadium in dem allgemeinen Kondensations- und Abkühlungsprozesse.

---

16. Die Nebelflecke und Sternhaufen.

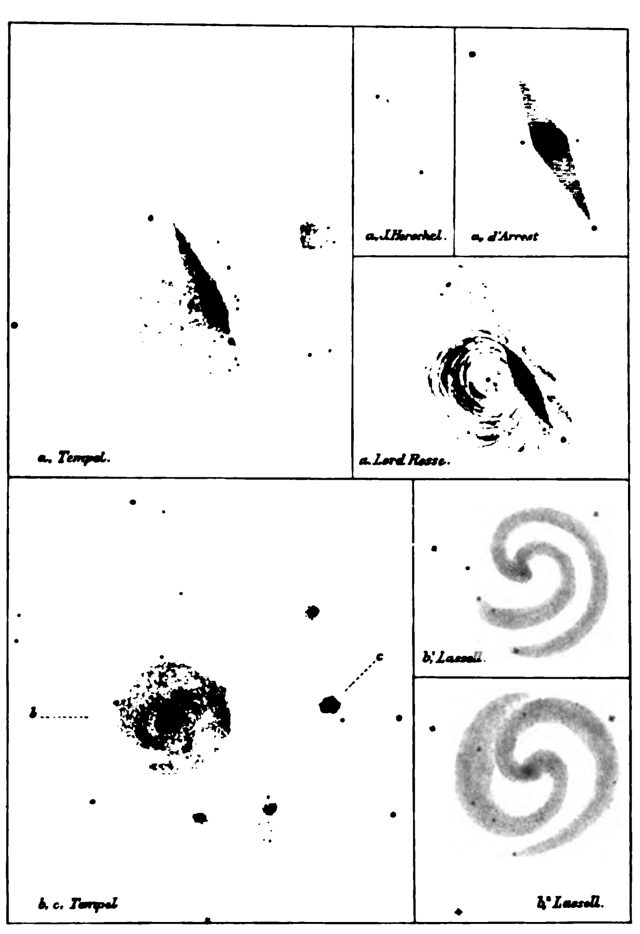
Von allen Himmelsobjekten sind die Nebelflecke die ausgedehntesten und gestaltreichsten. Einige von ihnen sind so groß und hell, daß sie mit dem bloßen Auge wahrgenommen werden können, andere, wenn auch sehr ausgedehnt, enthüllten ihre Existenz bisher nur der photographischen Platte, wieder andere sind so klein, daß sie durchaus den Anblick durchmesserloser Fixsterne gewähren und nur im Spektroskop ihre ausschließlich gasige Natur verraten. Chaotisch zerrissene Gestaltung deckt hier das raumdurchdringende Fernrohr auf, während andere Nebelgebilde so genau kreisrunde und gleichmäßig beleuchtete Gestalt haben, daß man sie mit Planetenscheiben verwechseln könnte. Wir haben eine Mannigfaltigkeit der erklärungsbedürftigen Einzelheiten vor uns, die uns in neue Verlegenheit darüber setzt, wo wir beginnen sollen. Unser Entwickelungsgedanke allein kann uns hier eine Handhabe bieten, indem wir vorweg annehmen, daß so, wie es auf der Erde ist, auch am Himmel alles nach Ordnung drängt, die ordnungslosesten Gebilde demnach das früheste Entwickelungsstadium darstellen werden.

Gemeinsam ist allen echten Nebeln allein ihr spektroskopischer Charakter: sie zeigen nur einige, meist scharf begrenzte, voneinander durch ganz dunkle Zwischenräume getrennte helle Linien. (Siehe die Spektraltafel bei S. 52.) Die zahlreichen, sonst durchaus nebelartig aussehenden Gebilde, die ein kontinuierliches, oft sogar von dunkeln Linien durchzogenes Spektrum zeigen, muß man im Gegensatz dazu für sehr weit entfernte Sternenwelten erklären, in denen wir die einzelnen Sonnen nicht mehr getrennt unterscheiden können. Auf diese sogenannten unauflösbaren Sternhaufen kommen wir zurück. Zwar konnte eine solche Unterscheidung erst vor wenigen Jahrzehnten getroffen werden, als schon umfangreiche Nebelkataloge existierten, in denen natürlich die wahren mit den scheinbaren Nebelflecken vermischt verzeichnet sind. Auch die unzweifelhaften Sternhaufen sind in diesen Katalogen mit aufgeführt. Dies durfte um so weniger auffallen, als man nach dem Vorgang des älteren Herschel, dessen unermüdlichem Forschertrieb wir den ersten dieser Kataloge verdanken, der Ansicht war, alle Nebelflecke seien in Wirklichkeit sehr weit entfernte Sternhaufen, die aus demselben Grunde, der unsere Milchstraße für das bloße Auge zu einem einheitlichen Lichtschimmer zusammenfließen läßt, auch für unsere derzeit besten Fernrohre untrennbar blieben. Wenn sich auch, wie wir schon sahen, auf Grund der Untersuchungen mit dem Spektroskop diese Ansicht definitiv als irrig herausstellte, so wurden doch manche Gebilde aufgefunden, die selbst im zerlegten Lichte einen Übergangscharakter verrieten, oder die sehr deutlich zugleich echter Nebelfleck und Sternhaufen sind. Kurz, die Mannigfaltigkeit dieser interessantesten aller Gebilde außerhalb unserer Sonnenweltinsel geht so weit, daß Übergangsformen zu allen anderen Himmelskörpern auffindbar sind, und deshalb feste Grenzen nicht gezogen werden können.

Die in den Katalogen oder sonstigen Veröffentlichungen enthaltene Anzahl der Nebelflecke und Sternhaufen ist mit der wachsenden Kraft unserer modernen Riesenfernrohre in rapidem Ansteigen begriffen, denn bei diesen ausgedehnten und lichtschwachen Objekten ist die Größe der lichtaufnehmenden Öffnung des Instrumentes von ausschlaggebender Bedeutung. Eine wesentliche Vergrößerung des Objektes ist in der Mehrzahl der Fälle nicht nötig, um die gewünschten Details zu erkennen, sondern nur eine Verstärkung der Helligkeit. Die meisten Nebelflecke zeigen deshalb die größte Fülle überraschender Einzelheiten in möglichst großen Fernrohren, aber bei zugleich möglichst geringen Vergrößerungen. (Siehe deswegen auch S. 20f. im Kapitel über die Sehwerkzeuge des Astronomen.) Das ganze weite Gebiet der Erforschung der Nebelflecke, das uns die tiefsten Einblicke in die Geheimnisse der Entwickelungsgeschichte des Weltalls tun läßt, konnte deshalb erst mit der Erbauung des ersten großen und wirklich lichtstarken Fernrohres, mit William Herschels Riesenteleskop, beginnen. Vor ihm waren nur etwa hundert dieser Objekte bekannt, die der französische Kometenjäger Messier gewissermaßen als Nebenergebnisse seiner Tätigkeit auffand. Vor der Erfindung des Fernrohres überhaupt kannte man am ganzen Himmel beider Hemisphären nur elf dieser Gebilde, wogegen das Verzeichnis des älteren Herschel etwa 2500 Nummern enthält und das von seinem Sohne John Herschel 1864 herausgegebene Verzeichnis, das auch die Durchmusterung des südlichen Himmels enthält, schon 5079 Nebel und Sternhaufen aufführt. Inzwischen ist noch eine beträchtliche Anzahl namentlich durch den Wettbewerb der großen amerikanischen Fernrohre hinzugekommen. Der neue Nebelkatalog von Dreyer enthält bereits 7840 Nummern. Insgesamt sind bis jetzt etwa 11,000 Nebel katalogisiert. Aber die wirkliche Zahl der heute noch mit unseren

photographischen Fernrohren erreichbaren Nebel ist noch ganz erheblich größer. Eine Schätzung nach der Anzahl auf photographischen Platten aufgefundenen Nebel führt Wolf in Heidelberg zu etwa 100,000; Perrine aber meint, daß man sogar eine halbe Million Nebel am ganzen Himmel als vorhanden annehmen dürfe.

Der ältere Herschel hatte es versucht, eine Klasseneinteilung einzuführen. Wegen der unmerklichen Übergänge aber und namentlich auch in Anbetracht des sehr wechselnden Charakters, den derselbe Nebel in Instrumenten verschiedener Kraft annehmen kann, hat man sein mehr äußerliches Einteilungsprinzip fast ganz wieder aufgegeben; nur die großen Kategorien, wie die der unregelmäßigen, der planetarischen, der Spiral- oder Ringnebel, haben sich im Sprachgebrauche noch erhalten.



Nebelzeichnungen verschiedener Beobachter.

Sehr erhebliche Schwierigkeiten stellen sich dem Nebelstudium durch die angedeuteten Unterschiede entgegen, die Beschreibungen und Zeichnungen desselben Objektes bei den verschiedenen Beobachtern aufweisen. Man vergleiche deswegen die nebenstehenden Abbildungen: der obere Teil stellt vier Zeichnungen eines und desselben Nebels dar. Es ist Nr. 4892 des von John Herschel herausgegebenen Generalkatalogs der Nebelflecke, den wir oben schon erwähnten. Herschel zeichnete das Objekt als ganz schmalen, in der Mitte etwas verbreiterten Streifen; d'Arrest machte daraus ein regelrechtes scharfumrissenes Parallelogramm mit starker Verdichtung in der Mitte. Würden sich diese beiden Zeichnungen zur Not miteinander identifizieren lassen, so ist dagegen die, welche Lord Rosse mit Hilfe seines Riesenspiegels in Parsonstown entwarf, von den beiden anderen durchaus verschieden: es hat sich ein großes wirbelartiges Anhängsel gebildet, das eine Fülle seltsamster Details zeigt; das früher allein gesehene Parallelogramm erscheint hier nur als reiskornartige Verdichtung inmitten der Nebelmasse. Die vierte Zeichnung endlich rührt von Tempel her, einem Manne, der es hauptsächlich wegen seines phänomenal empfindlichen Auges vom einfachen Lithographen bis zum geachteten Astronomen gebracht hat, und dem man

eine ganze Reihe interessanter Entdeckungen in Gebieten verdankt, die an der Grenze menschlicher Auffassungsfähigkeit stehen. Tempel beobachtete zuletzt unter dem reinen Himmel von Florenz mit einem vorzüglichen zehnzölligen Refraktor von Amici. Auf der an diesem Instrument entworfenen Zeichnung des betrachteten Nebels sind wieder alle Details, die Lord Rosse gesehen hatte, verschwunden, nur das runde Anhängsel an das Parallelogramm von d'Arrest ist geblieben.

Der untere Teil der Abbildung stellt drei Zeichnungen eines anderen sogenannten Spiralnebels dar (Nr. 2890 des Generalkataloges). Die beiden rechts stehenden Zeichnungen rühren von Lassell her, einem Privatastronomen, der sich auf Malta einen riesigen Reflektor errichtet hatte. Sind auch die beiden zu verschiedenen Zeiten entworfenen Darstellungen etwas verschieden, so ist ihr Charakter als doppelte Spirale unverkennbar. Zuerst sah Lassell die beiden Zweige getrennt, dann zeichnete er am Ende des einen Zweiges eine sich verbreiternde Nebelmasse, während Tempel einen runden Nebel sah, der an verschiedenen Stellen Verdichtungen zeigt; von einem spiraligen Charakter ist keine Spur zu erkennen. Die Verdichtungen könnte man, wenn man sich nicht scheute, an der Zeichnung von Tempel einige Retouche anzuwenden, ungefähr zu den Zweigen der Lassellschen Spirale zusammenfügen. Nun wundert sich Tempel mit Recht, daß er auf der einen Seite entschieden mehr, auf der anderen ebenso sicher weniger sah als Lassell: er sah die für ihn ziemlich dichte Nebelmaterie zwischen den Zweigen der Spirale, aber diese Spirale selbst nicht. Er war deshalb in diesem und in vielen ähnlichen Fällen mit manchem anderen Astronomen der Ansicht, daß der menschliche Geist jene bedenkliche Retouche vornimmt und in das Chaos der unregelmäßigen Nebelgebilde irgendeine uns verständliche und von unserer Weltanschauung gewünschte regelmäßige Form unbewußt einfügt, wenn das Ganze an der Grenze der Sichtbarkeit überhaupt liegt. Tempel glaubte deshalb überhaupt nicht an Spiralnebel oder ähnliche regelmäßige Bildungen.

Wiewohl eine gewisse Berechtigung für diese kritische Auffassung nicht von der Hand zu weisen war, so haben doch die neueren Forschungen, namentlich unter Zuhilfenahme der unparteiischen Astrophotographie, mit Sicherheit erwiesen, daß ordnende Gewalten selbst in die scheinbar wildzerrissensten Nebelgebilde eingreifen, und daß gerade die vielbestrittenen Spiralgestalten in allen Himmelsräumen bedeutend häufiger auftreten, als man es je vorher vermutet hatte. Verfasser, der vielfach unter günstigen Bedingungen mit den besten Sehwerkzeugen der Neuzeit zu arbeiten Gelegenheit hatte und trotzdem zu den Zweiflern gehörte, die wenigstens die allzu detaillierten Zeichnungen mancher Beobachter in den Bereich der Selbsttäuschungen verweisen zu müssen glaubten, war höchlichst überrascht von der unzweifelhaften Klarheit, mit der er einen bekannten Spiral- oder besser Doppelringnebel (37 H IV Draconis) in einer Nacht als solchen erkannte, als er einige der interessantesten Himmelsobjekte mit dem gewaltigen Refraktor der Lick-Sternwarte auf dem kalifornischen Berge Hamilton bewundern konnte. Es war ganz auffallend, wie ungemein die Definition dieses wunderbaren Instrumentes z. B. die des großen Wiener Refraktors, mit dem der Verfasser ein halbes Jahr lang arbeiten durfte, übertraf, dessen Objektiv allerdings 10″ weniger Durchmesser (26″ statt 36″) besitzt. Ein Reisegefährte, der in diesen Dingen völlig Laie war und keine Ahnung von dem hatte, was er sehen sollte, stimmte in seinen Wahrnehmungen vollständig mit jenen überein.

In hervorragender Weise aber hat in dieser Hinsicht die Photographie klärend gewirkt. Die empfindliche Platte konnte man ganze Nächte hindurch der ungemein schwachen



Lichtwirkung der Nebelflecke aussetzen, die für das nur momentan auffassende Auge kaum noch oder überhaupt nicht vorhanden war und obendrein durch die Ruhelosigkeit der Lufthülle unseres Planeten beständig gestört wurde. Es zeichneten sich so Einzelheiten mit einer Schärfe auf, die allen vorhin angedeuteten Diskussionen ein Ende machen mußten. Wir werden darauf bei den folgenden Einzelschilderungen näher eingehen.

Daß bisher nur eine verhältnismäßig sehr geringe Zahl dieser merkwürdigen Gebilde spektroskopisch untersucht wurde, wird angesichts der Lichtschwäche der meisten derselben nicht wundernehmen. Unter den untersuchten Nebeln sind nach Scheiner nur die in der folgenden Tabelle angeführten 48, die in der Rubrik „Bemerkungen" nicht mit P bezeichnet sind, als echte Nebel, d. h. als leuchtende Gasmassen, durch ihre hellen Linien unzweifelhaft erkannt worden.

Verzeichnis der spektroskopisch untersuchten Gasnebel (nach Scheiner).

Nr. des Generalkatalogs	A. R. (1870)	δ (1870)	Bemerkungen	Nr. des Generalkatalogs	A. R. (1870)	δ (1870)	Bemerkungen
355	1h 26m	+30,0°	—	4302	17h 21m	—23,6°	Ringnebel
385, 386	1 34	+50,9	—	4314	17 30	—23,8	—
581	2 32	+ 0,5	—	—	17 41	—16,4	planetarischer Nebel P
600	2 36	— 0,6	—	4355	17 54	—23,0	—
826	4 8	—13,1	planet. Nebel	4361	17 56	—24,4	—
1179	5 28	— 5,5	Orionnebel	—	17 58	—19,9	planetarischer Nebel P
1180	5 28	— 4,9	c Orionis	4373	17 59	+66,6	„ „
1183	5 29	— 6,0	ι Orionis	—	18 5	—19,1	„ „ P
1185	5 29	— 5,4	—	4390	18 6	+ 6,8	„ „
1225	5 35	+ 9,0	planet. Nebel	—	18 8	—20,3	„ „ P
1227	5 35	— 1,9	—	4403	18 13	—16,2	Ω-Nebel
1269	5 40	—69,2	—	4447	18 49	+32,9	Ringnebel in der Leier
1532	7 21	+21,2	—	—	18 56	— 0,6	planetarischer Nebel P
1565	7 36	—14,4	planet. Nebel	—	19 7	+46,1	„ „ P
1567	7 36	—17,9	„ „	4487	19 12	+ 6,3	„ „
1783	9 8	—41,9	„ „	—	19 12	+ 1,8	„ „ P
1801	9 11	—36,1	„ „	—	19 17	+ 1,3	„ „ P
1843	9 18	—57,8	„ „	4499	19 25	+ 9,0	—
2017	10 2	—39,8	„ „	—	19 29	+ 5,4	planetarischer Nebel P
2076	10 14	—62,0	„ „	4510	19 37	—14,5	„ „
2102	10 19	—18,0	„ „	4514	19 41	+50,2	„ „
2197	10 40	—58,9	η Argus	—	19 46	+48,7	„ „ P
2343	11 7	+55,7	planet. Nebel	4532	19 54	+22,4	Dumbbell-Nebel
2581	11 44	—56,5	„ „	4572	20 17	+19,7	planetarischer Nebel
2917	12 18	—18,1	—	4627	20 57	+54,1	—
4066	15 8	—45,2	planet. Nebel	4628	20 57	—11,9	planetarischer Nebel
4214	16 25	+50,9	—	4827	22 35	+60,6	—
4234	16 39	+24,1	planet. Nebel	4936	23 13	+ 7,6	—
—	17 7	— 1,8	„ „ P	4964	23 20	+41,8	planetarischer Nebel
4284	17 10	—51,6	„ „				

Das Spektrum dieser Nebelflecke besteht meist nur aus vier hellen, scharf begrenzten Linien, die für sie alle an denselben Stellen auftreten (siehe die Spektraltafel bei S. 52). Als Mittel aus den betreffenden Beobachtungen von Vogel, Huggins, d'Arrest und Copeland fand Scheiner die folgenden Wellenlängen dieser Linien: 500,43, 495,72, 486,09, 434,07 $\mu\mu$. Die Helligkeiten dieser Linien verhalten sich zueinander wie die Zahlen 10, 5, 8, 1. Die

letzte Linie ist also sehr schwach und fehlt deshalb in manchen Nebeln ganz. Diese Linie und die zweitletzte bei 486 gehören unzweifelhaft dem Wasserstoff an, der ja fast nirgends fehlt; die erste und hellste Linie im Nebelspektrum fällt mit einer Stickstofflinie zusammen, die zweite dagegen, bei 496, die in keinem der oben angeführten Nebel fehlt, ist noch gänzlich unaufgeklärten Ursprungs. Wir erhalten hier also, wie es scheint, durch den Lichtstrahl Kunde von einem unbekannten Gase, das in den letzten Tiefen des Universums am Aufbau der Welten überall arbeitet, und in dem man vielleicht einen jener wenigen Urstoffe vor Augen hat, aus denen sich die Anhänger gewisser moderner Naturanschauungen die chemischen Elemente entstanden denken. Nur in jenen Urzuständen, fern von unserer der Vollendung entgegengehenden Welt, in der die Atome aus ihren vielverschlungenen Verbindungen niemals mehr sich loslösen können, vermögen nach dieser Ansicht die Urstoffe sich noch getrennt zu erhalten. In der Tat regt die ungemeine Einfachheit des Spektrums jener nach allgemeiner Überzeugung im ersten Werdestadium befindlichen Welten zum Nachdenken über diese Fragen lebhaft an.

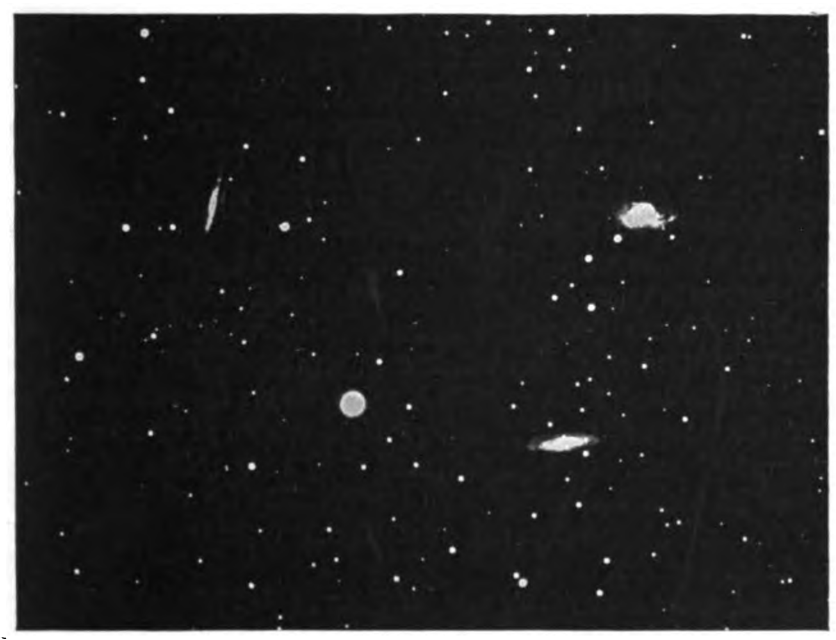
Indessen sind diese vier Linien nicht die einzigen, die man in den Nebeln entdeckt hat. Namentlich hat Huggins auf photographischem Wege noch eine Reihe anderer Linien aufgefunden, so daß nach Scheiner die Zahl aller bisher in Nebeln aufgefundenen Linien auf 43 steigt. Alle aber sind ohne Ausnahme sehr schwach. Von ihnen lassen sich noch zwei mit Wasserstofflinien identifizieren, und eine andere, von Copeland im Orionnebel entdeckte Linie verrät auch dort das Vorhandensein des Heliums. Die weiteren meist in Gruppen zusammenstehenden Linien haben zum Teil einige Ähnlichkeit mit Gruppen des Eisenspektrums, beziehungsweise auch des Magnesiums; doch ist Bestimmtes hierüber noch nicht ermittelt worden.

Sind nun zwar vier der Wasserstofflinien im Nebelspektrum wiedergefunden worden, so ist doch als sicher anzunehmen, daß dieses überall gegenwärtige Element dort in einem Zustande vorkommt, der von dem uns bekannten sehr verschieden ist. Denn gerade die hellste aller Wasserstofflinien, die wir im Laboratorium beobachten, die Fraunhofersche Linie C, fehlt im Nebelspektrum ganz. Relative Helligkeitsänderungen der Linien eines und desselben Spektrums sind aber, wie wir bereits wissen, Folgen sehr veränderter physischer Zustände, die wir also hier notwendig voraussetzen müssen.

Das oben abgedruckte Verzeichnis der echten Nebel enthält überwiegend unregelmäßige und „planetarische" Nebel. Letztere sind so genannt, weil sie in ihrem Aussehen als runde, ziemlich gleichmäßig beleuchtete Scheiben den Planeten ähneln, wenigstens den fernsten unter dieser Familie, auf deren Oberflächen man keine Einzelheiten mehr zu unterscheiden vermag. Die scheinbaren Durchmesser der Nebelscheiben sind meist recht klein; in den elf Fällen, in denen wir im Verzeichnis ein P eingefügt haben, erscheinen sie im Fernrohr sogar als Sterne ohne Durchmesser, und nur das Spektroskop enthüllt ihren Charakter als leuchtende Nebelmassen. Wir verdanken diese elf Entdeckungen der spektroskopischen Durchmusterung Pickerings.

Es ist sehr eigentümlich, daß gerade die beiden in der Reihe der Nebelformen am extremsten sich gegenüberstehenden Gestaltungen, die ganz unregelmäßigen und die denkbar symmetrisch, d. h. kugelförmig, gebauten, sich als gasförmige Körper erweisen, die also physikalisch noch auf dem niedrigsten Standpunkte der Entwickelung sind, während bei den zwischenliegenden Formen Verdichtungen zu wirklichen, ein kontinuierliches Spektrum gebenden

Sternen viel häufiger vorkommen. Holden meint darum, daß eine große Anzahl der planetarischen Nebel nur deshalb uns so regelmäßig erscheinen, weil sie sehr weit von uns entfernt sind, so daß man nur die dichteste Stelle sieht, die auch bei den ausgedehnten unregelmäßigen Nebeln, beispielsweise dem im Orion, eine ungefähr abgerundete Gestalt hat. Holden sah in der Tat mit seinem eminent raumdurchdringenden Glase im Inneren einiger planetarischer Nebel große Unregelmäßigkeiten, die ihn zu seiner Vermutung kommen ließen. Die Pickeringschen Sternnebel wären dann das letzte Extrem dieser nur durch die Entfernung hervorgerufenen scheinbaren Regelmäßigkeit. Die Photographie hat bei vielen dieser sogenannten planetarischen Nebel ganz unzweifelhaft deren komplizierteren Aufbau verraten, und zwar



Drei kleine planetarische Nebel im Löwen, aufgenommen von M. Wolf, Heidelberg.

haben sie sich meist als kleine Spiralnebel erwiesen. Interessant ist in dieser Hinsicht die obenstehend wiedergegebene Aufnahme von Wolf in Heidelberg, die am 27. März 1906 bei $3\frac{1}{4}$ Stunden Belichtung erhalten wurde. Sie stellt ein kleines Gebiet im Sternbilde des Löwen um einen Stern 7. Größe dar, der als größere weiße Scheibe erscheint. In seiner Nähe befinden sich drei kleine Nebel, an denen das Fernrohr keine Einzelheiten unterscheidet. Die Photographie enthüllt sie als spiralig gewunden. Der untere rechts hat eine augenfällige Ähnlichkeit mit dem weiterhin (Tafel „Nebel" I) abgebildeten großen Andromedanebel, der oben links sieht auf der Photographie so aus, wie dieser selbe Nebel im Fernrohr, also bevor die Photographie seine feineren Einzelheiten enthüllte. Wir haben demnach zu erwarten, daß hier nach weiteren Fortschritten der Beobachtungskunst sich noch eine ähnliche Struktur verraten wird. Der dritte Nebel oben rechts scheint eine kleine Kopie des berühmten Spiralnebels in den Jagdhunden (Tafel „Nebel" II, 3) zu sein.

Für die Beurteilung, ob bei den Nebeln jene Einzelheiten nur scheinbar verschwinden, tritt unsere völlige Unkenntnis über die E n t f e r n u n g e n d e r N e b e l recht empfindlich

hervor. Schon bei den Fixsternen, die als Punkte für die Messung feinster scheinbarer Bewegungen die beste Gelegenheit geben würden, sind die Schwierigkeiten fast unüberwindlich. Nur aus solchen scheinbaren Bewegungen, die in Wirklichkeit die Abspiegelung unseres eigenen Kreislaufes um die Sonne sind, lassen sich aber diese Entfernungen in exakter Weise ableiten. Bei den Fixsternen sind diese Bewegungen schon meist verschwindend klein; die Nebel aber bieten überhaupt keinen Anhalt für so feine Messungen. Wir haben ja vorhin gesehen, wie ganz verschiedene Gestaltungen man unter veränderten Umständen bei einem und demselben Nebel bemerkt. Man wird deshalb bei Monate und Jahre hindurch fortgesetzten Messungen, die nötig sind, um die minimalen periodischen Verschiebungen mit einiger Sicherheit festzustellen, den einmal ins Auge gefaßten Punkt des der Messung unterworfenen Objekts das nächste Mal nicht wieder mit der erforderlichen Genauigkeit identifizieren können. Die dadurch entstehenden Fehler überwuchern völlig das Messungsergebnis.

Wir können deshalb für die Entfernung der Nebel nur die untersten Grenzen feststellen, die wir schon bei den Fixsternen im großen und ganzen annehmen mußten. Die Nebelflecke sind danach mindestens ebensoweit von uns entfernt wie die Fixsterne. Die bis vor nicht langer Zeit allgemein gehegte Ansicht aber, die Nebelflecke und namentlich die dicht gedrängten Sternhaufen seien Sternsysteme außerhalb des unsrigen und ständen also auch im Vergleich zu den Entfernungen der Fixsterne sehr weit von uns ab, hat man fallen lassen müssen. Wir kommen in unserer Zusammenfassung über den Bau des Fixsternsystems darauf zurück. In einem besonderen Falle, dem des Ringnebels in der Leier (Tafel „Nebel" III, 5), der in seiner Mitte einen scharf einzustellenden Fixstern besitzt, der offenbar zum Nebel gehört, ist es Newkirk durch photographische Vergleichung der Lage dieses Sternes gegen 16 umgebende Sterne gelungen, die „Parallaxe" dieses ersteren zu 0,104" und damit seine Entfernung zu bestimmen. Er fand sie „nur" gleich etwa zwei Millionen Sonnenentfernungen. In dieser Entfernung stehen durchschnittlich die Sterne 3.—4. Größe; dieser Nebel befindet sich danach sogar noch innerhalb einer engen umgrenzten Sterngruppe, der unsere Sonne angehört.

Einige Nebel, und namentlich die unregelmäßigen, haben sehr große scheinbare Ausdehnungen, die, wie wir schon bemerkten, die aller anderen permanenten Himmelskörper bei weitem übertreffen. Wir führen hier die Ausdehnung von sechs der größten Nebel nach Littrow-Weiß an:

Nebel	A. R.	Deklination	Quadratgrade
In den Fischen	0 h 17 m	+ 4° 0'	7,6
In der Andromeda.	0 40	+43 21	8,6
Im Fuhrmann	5 16	+25 0	3,4
Im Orion	5 35,3	— 4 34	4,6
Im Bootes	14 0,3	+34 1	1,6
Im Wassermann	20 1,7	— 2 23	4,1

Der große Nebel in der Andromeda nimmt danach am Himmelsgewölbe eine mehr denn dreißigmal größere Fläche ein als die Sonne. Setzen wir nun die sicher unterste Grenze für seine Entfernung voraus, indem wir ihn nur so weit von uns abstehend denken wie die Fixsterne erster Größe, also rund 200,000 Sonnenweiten, dann wäre dieses geheimnisvolle Gebilde in der Flächenausdehnung allein 200,000 × 30, also etwa sechs Millionen mal größer als unsere Sonne, deren gewaltige Dimensionen, längst unserer Fassungskraft entrückt, selbst



1. Großer Orion-Nebel.
Nach photographischer Aufnahme von Ritchey mit dem Reflektor der Yerkes-Sternwarte.



2. Großer Andromeda-Nebel.
Nach photographischer Aufnahme von Ritchey mit dem Reflektor der Yerkes-Sternwarte.



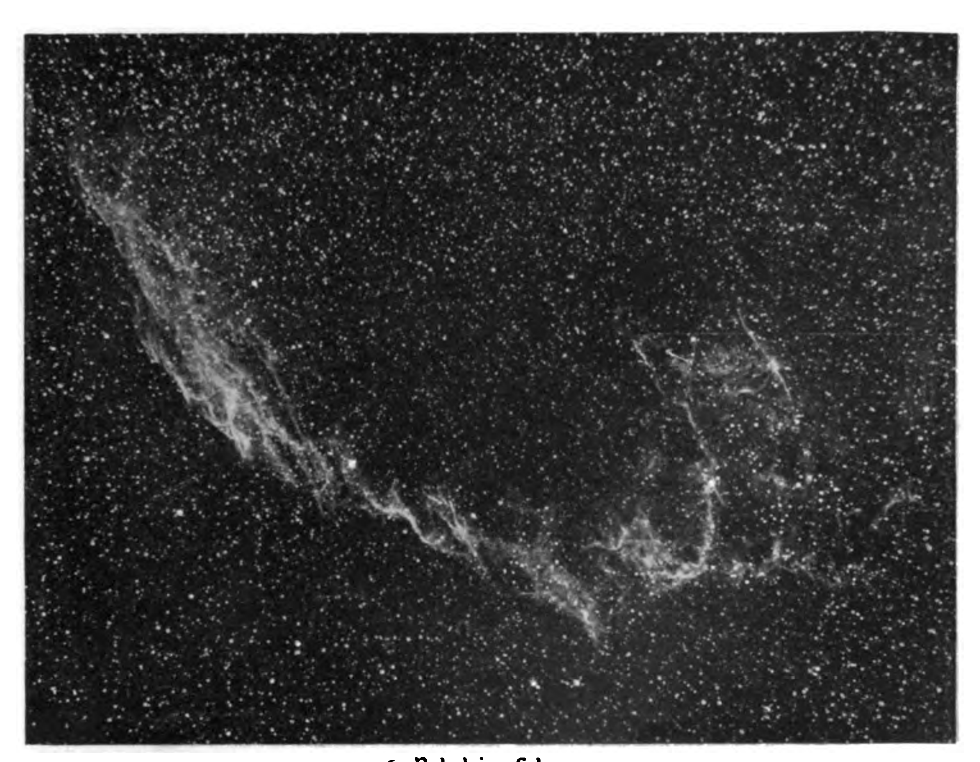
3. Spiral-Nebel in den Jagdhunden.
Nach photographischer Aufnahme von Ritchey mit dem Reflektor der Yerkes-Sternwarte.



4. Spiral-Nebel im Dreieck.
Nach photographischer Aufnahme von Ritchey mit dem Reflektor der Yerkes-Sternwarte.



5. Ring-Nebel in der Leier.
Nach photographischer Aufnahme mit dem Croßley-Reflektor der Lick-Sternwarte.



6. Nebel im Schwan.
Nach photographischer Aufnahme von Ritchey mit dem Reflektor der Yerkes-Sternwarte.



7. Trifid-Nebel im Schützen.
Nach photographischer Aufnahme mit dem Crossley-Reflektor der Lick-Sternwarte.



8. Großer Nordamerika-Nebel im Schwan.
Nach photographischer Aufnahme von M. Wolf mit dem Bruce-Teleskop in Heidelberg.

der zahlenmäßigen Erforschung durch ihre jeden Vergleich mit der Erde überragende Größe die bedeutendsten Schwierigkeiten bereiten. Hier sind offenbar die Räume ganzer Weltsysteme, so umfangreich oder noch größer als unser Planetenreich bis an die letzten Grenzen, an denen die Sonne ihre Kometenschar zur Umkehr zwingt, mit einem Gemisch von Gasen ausgefüllt, die zweifellos in ungemeiner Verdünnung existieren und vielleicht nur deshalb leuchten, nicht etwa weil sie glühend heiß wären, wie man ehemals annehmen zu müssen glaubte. Heute wissen wir, daß es physische Zustände gibt, in denen ein Gas bei sehr hoher Verdünnung beständig leuchtet, welcher Art auch seine Temperatur sein mag. Auch die geheimnisvolle Radioaktivität gewisser Stoffe spielt bei diesem Leuchten der Nebel wahrscheinlich eine Rolle.

Neuerdings sind von Wolf in Heidelberg und später von anderen mit gewöhnlichen photographischen Apparaten, die für diesen Fall den Vorteil eines großen Gesichtsfeldes mit großer Lichtstärke verbinden, Nebelschleier entdeckt worden, die sich über ganze Sternbilder ausdehnen. Wir werden später, Seite 350, einen solchen das Sternbild des Orion umziehenden Nebelschleier abbilden. Sie führen unwillkürlich auf den Gedanken, daß das ganze Universum mit einer Art von Luft, dem W e l t ä t h e r, ausgefüllt sein müsse, der in gewissen Regionen etwas dichter auftritt als in anderen. Fügen wir nun diese ungemein feinen Nebelschleier in unsere Entwickelungsreihe ein, so können wir sie nur vor die gleichfalls ausgedehnten helleren unregelmäßigen Nebel als eine erste Stufe des Werdens einordnen. Wir werden dann zu der Vermutung geleitet, daß die Welten sich allmählich aus jener Himmelsluft, die wir als Trägerin der Lichtwellen betrachten müssen, so wie unsere irdische Luft den trägeren Schall vermittelt, zusammenballen. Denn wir erkennen hier ganz deutlich ein Gesetz: die größte Ausdehnung haben die lichtschwächsten Nebelgebilde. In ihnen muß also die Himmelsluft am dünnsten sein, denn sollten etwa bezüglich der Lichtverhältnisse die uns unbekannten Entfernungen eine Rolle spielen, so könnten sie doch nur im umgekehrten Sinne wirken, d. h. es müßten gerade die kleineren, im Durchschnitt also entfernteren Nebel lichtschwächer erscheinen. Im Gegenteil werden die weniger ausgedehnten unregelmäßigen Nebel durchschnittlich um so heller, je kleiner sie sind, und dies setzt sich im allgemeinen auch noch bei den regelmäßigen Gebilden dieser Art fort. Wir wollen also festhalten, daß die Tatsachen der Beobachtung (ohne andere Voraussetzung als die, daß die am Himmel gesehenen ähnlichen Bildungen einzelne Stufen eines im allgemeinen gleichartig verlaufenden Bildungsganges sind) die Vermutung mindestens sehr nahe legen, jene Welten hätten sich aus einer sehr feinen, überall im Universum vorhandenen Materie allmählich verdichtet.

Im Zusammenhang mit dieser Entwickelungsidee steht höchstwahrscheinlich auch die Wahrnehmung, daß sich an manchen Stellen des Himmels eine größere Anzahl von einzelnen Nebeln zusammendrängt, sogenannte N e b e l n e st e r bildet. Wenn man auf solche Stellen, die namentlich im Sternbild der Jungfrau häufig sind, ein sehr kräftiges Fernrohr richtet und dieses dann feststellt, so daß der Himmel infolge seiner täglichen Bewegung an unserem Gesichtsfelde vorüberzieht, so bleibt das letztere oft halbe Stunden lang niemals ohne einen kleineren oder größeren Nebel. Sieht man von einigen größeren Lücken ab, dann zeigt sich sogar, daß eine weite Kette von Nebelflecken sich etwa senkrecht zur Milchstraße, von der Jungfrau beginnend über den Großen Bären hinweg, dann, die Milchstraße bei der Cassiopeja kreuzend, durch die Andromeda bis zum Centauren erstreckt. Wahrscheinlich schließt sich diese Kette auf der noch immer nicht genügend studierten Südhalbkugel zu einem vollständigen

Ringe zusammen, den man die Milchstraße der Nebelflecke nennen könnte. Die einzelnen Nebelnester, die sich hier zu einem größten Systeme zu vereinigen scheinen, kann man entweder für einen immer noch zusammenhängenden großen unregelmäßigen Nebel halten, dessen Lichtknoten für uns einzelnstehende Nebel sind, während die dazwischenliegende Nebelmaterie wegen der großen Entfernung zu lichtschwach ist, um von uns noch wahrgenommen werden zu können, oder aber man kann die Kondensationsarbeit hier als so weit vorgeschritten ansehen, daß der ursprüngliche Nebel in einzelne nun für sich bestehende Ballen zerfiel.

Von diesen vielfachen Nebeln ist nur ein weiterer Schritt zu den Doppelnebeln, die viel häufiger am Himmel vorkommen, als es bei Annahme einer durchschnittlich gleichmäßigen Verteilung der Wahrscheinlichkeit entspricht. Wir werden später bei den Doppelsternen der gleichen Erscheinung begegnen und in beiden Fällen annehmen müssen, daß dieses Zusammenstehen kein zufälliges, nur optisches ist, so daß etwa in Wirklichkeit diese beiden Objekte in sehr weitem Zwischenraume hintereinander stehen, sondern daß sie wirklich nebeneinander befindlich und in physischem Zusammenhange miteinander sind. Ist dies der Fall, so müßten sich die beiden Nebel im Lauf der Zeit beeinflussen und gemeinsame Bewegungen um ihren Schwerpunkt ausführen. Aber das Studium dieser fernen Welten ist noch zu jung, um über solche Fragen Aufschluß geben zu können. Nur bei einem dieser Doppelnebel, bei A.R. $7^h\,19^m$, D $+29^\circ\,41'$ in den Zwillingen, glaubt d'Arrest die Spur einer Umlaufsbewegung bemerkt zu haben. Eigenbewegungen einzeln stehender Nebel sind begreiflicherweise noch schwerer zu ermitteln. Darauf bezügliche Versuche haben ein negatives Resultat ergeben.

Da alle Fixsterne Eigenbewegungen haben, so würde man aus dem Mittelwerte der Eigenbewegungen beider Klassen von Gestirnen auf eine relativ größere oder kleinere Entfernung der einen oder der anderen schließen können; denn man darf wohl annehmen, daß in Wirklichkeit die durchschnittliche Bewegung aller Himmelskörper die gleiche für jede Entfernung von uns ist. Wenn also die Nebel eine geringere Bewegung zeigen als die Fixsterne, so wäre dies ein Beweis für ihren größeren Abstand von uns, der uns denselben von ihnen zurückgelegten Weg kleiner erscheinen läßt. Daß in der Tat die Nebelflecke Bewegungen von der gleichen Größenordnung ausführen wie die Fixsterne, hat Keeler durch spektroskopische Beobachtungen mit dem großen Lick-Refraktor nachweisen können. Wie unermeßlich weit auch diese Gebilde von uns entfernt sein mögen, immer muß der uns von ihnen zugesandte Lichtstrahl seine Wellenlänge verkürzen oder verlängern, je nachdem der Nebel in Bewegung auf uns zu oder von uns hinweg begriffen ist. Keeler maß nun den Abstand der hellsten Nebellinie bei 500,6 von einer künstlich erzeugten Magnesiumlinie und fand ihre Lage etwas abweichend bei verschiedenen Nebeln. Allerdings ist es in diesem Falle nicht möglich, hieraus absolute Werte der Bewegungen in der Gesichtslinie abzuleiten, da jene Nebellinie nicht mit voller Sicherheit dem Stickstoff zugeschrieben und deshalb nicht mit der künstlich erzeugten betreffenden Linie verglichen werden kann. Nimmt man aber an, daß das Mittel aus allen gemessenen Lagen dieser Linie dem Zustande der Ruhe entspricht, daß also die untersuchten Nebel zusammengenommen keine bevorzugte Bewegungsrichtung im Raume haben, so wird die Abweichung jeder einzelnen Beobachtung vom Mittelwerte der Linienlage die gesuchte Eigenbewegung wenigstens annähernd ergeben.

Keeler hat in dieser Weise bisher nur zehn Nebel untersuchen können und dabei Eigenbewegungen in der Gesichtslinie gefunden, die im Durchschnitt sowohl wie in den Extremen

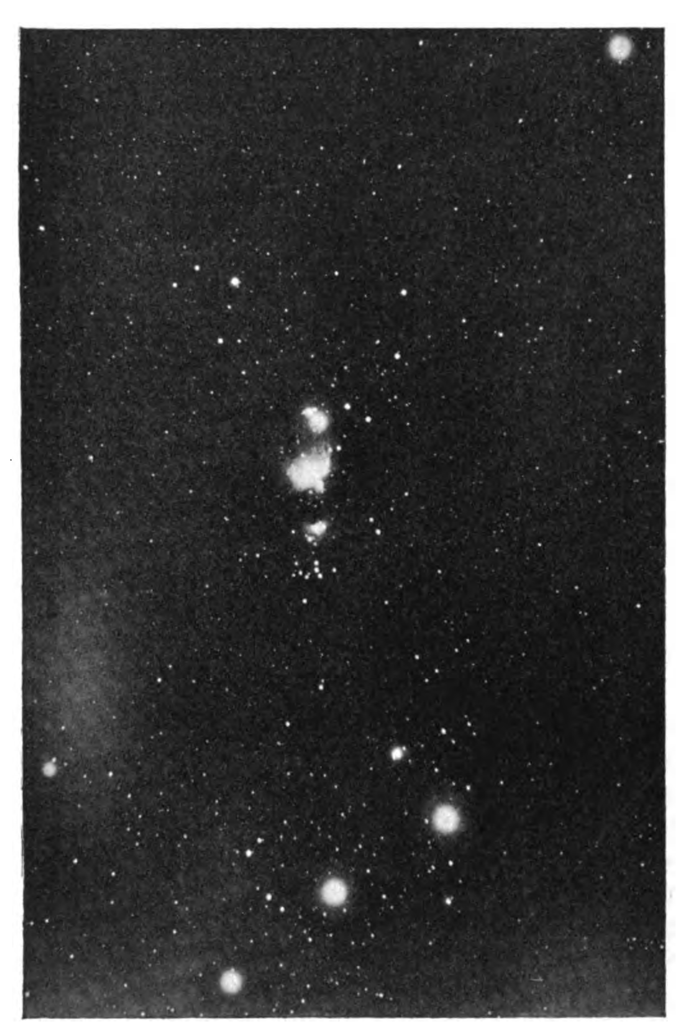
denen der Fixsterne völlig vergleichbar sind. Das Mittel ergab nämlich etwa 21 km in der Sekunde. Die schnellsten Bewegungen zeigten Nr. 4373 des Generalkatalogs mit 47 km Annäherung in der Sekunde und Nr. 6790 mit 58,5 km sekundlich wachsender Entfernung von uns.

Sehr seltsam und vorläufig noch nicht erklärt ist die Wahrnehmung, daß einige Nebel Schwankungen ihrer Helligkeit ausgesetzt zu sein scheinen, denn die Erklärungen, die für die Veränderlichkeit einer Reihe von Fixsternen herangezogen werden können, sind hier nicht verwendbar. Es sind etwa zehn Fälle solcher variabeln Nebel bekannt geworden, von denen jedoch nicht alle als unzweifelhaft gelten können. Dies wird erklärlich, wenn wir bedenken, wie sehr verschieden oft ein und derselbe Nebel aufgefaßt worden ist. Wenn allerdings, wie es z. B. bei einem im Jahre 1852 von Hind entdeckten Nebel bei den Hyaden (A. R. $4^h\ 16^m$, $D + 19^0\ 17'$) stattfand, das Objekt ehedem mit unvollkommeneren Instrumenten sehr gut, und dann mit immer besseren und lichtkräftigeren Fernrohren stufenweise schwächer gesehen wurde, so scheint ein Zweifel an der Wirklichkeit der Lichtabnahme kaum noch bestehen zu können.

Und dennoch ist dies nicht ohne weiteres zuzugeben, wenn man sich dessen erinnert, was an früherer Stelle über die Wirkungsweise der Fernrohre gesagt worden ist. Je größere Objektive man mit der Zeit anwandte, desto stärkere Vergrößerungen mußten zugleich verwendet werden. Hierdurch aber konnte unter Umständen das sehr schwache Licht der Nebel auf eine zu große Fläche ausgebreitet werden, um noch einen Eindruck auf unsere Netzhaut hervorzubringen. Für große lichtschwache Nebel haben also kleine, wenig vergrößernde, aber ein großes Gesichtsfeld besitzende Fernrohre einen unbestreitbaren Vorzug. Dies zeigte sich namentlich auch bei den vielfachen Erörterungen, die sich um das Vorhandensein eines großen Nebels bei dem Stern Merope in den Plejaden entsponnen hatte. Tempel sah dieses interessante Objekt zuerst mit einem ganz kleinen zweizölligen Handfernrohr, das sich der damalige Lithographengehilfe in Venedig aus Liebhaberei angeschafft hatte. Da nun aber gewiegte Astronomen in ihren gewaltigen Fernrohren keine Spur von demselben entdecken konnten, mußte sich wohl Tempel geirrt haben. Später jedoch sahen andere Beobachter wenigstens einen schwachen Schimmer an dieser Stelle; dann meldete sich wieder ein Freund der Sternkunde auf Jamaika, der das bestrittene Objekt mit einem Vierzöller sehr deutlich gesehen hatte. Nun meinte man, es müsse veränderlich in seiner Lichtstärke sein, während doch höchstwahrscheinlich nur die Verschiedenheit der angewandten Vergrößerungen die Schuld an den verschiedenen Meinungen der Beobachter trug.

Eine ähnliche Bewandtnis hat es mit gewissen sogenannten Nebelsternen, die Herschel in seinem Kataloge anführt. Diese unterscheiden sich bei oberflächlichem Anblick nicht von Fixsternen; sie sind jedoch von ausgedehnten sehr lichtschwachen, aber nach außen ziemlich deutlich begrenzten Nebelatmosphären umgeben. Letztere konnten eine Anzahl Beobachter nach dem großen Entdecker nicht wieder erkennen. Verfasser hat sich aber in Genf mit Hilfe des dortigen Zehnzöllers davon überzeugen können, daß sie zwar bei voller Öffnung des Objektives niemals sichtbar waren, dagegen bei bestimmter kleinerer Öffnung und ebenso bestimmt ausgewählter Vergrößerung sehr deutlich wurden. In diesem Falle scheint die allgemeine Helligkeit des Himmelsgrundes eine gewisse Rolle mitzuspielen, der nicht in gleicher Weise mit der durch die Objektivöffnung zugelassenen Lichtfülle oder der benutzten Vergrößerung sich aufhellt wie ein leuchtendes Objekt. Unter gewissen Bedingungen

bleibt zwischen der Helligkeit des Himmelsgrundes, von dem bekanntlich auch in tiefster Nacht immer noch Licht herabkommt, und der des betreffenden sehr lichtschwachen Objektes keine Differenz mehr übrig; beides verschwimmt also ganz ineinander. Trotz Verminderung des vom Objektiv zugelassenen Lichtes kann bei der gleichen Vergrößerung diese Differenz sich steigern, das Objekt also sichtbar werden. Die Nebelhüllen um diesen Sternen sind nach Seeliger vielleicht ausgedehnte Staubmassen, die von ihrer Sonne beleuchtet werden. In diesem Sinne ist auch unsere Sonne mit dem Zodiakallicht ein Nebelstern.



Der Jakobsstab und der Orionnebel. Photographische Aufnahme von Russell in Sydney. Vgl. Text, S. 345.

Aus diesen Betrachtungen erhellt zur Genüge, wie schwierig es ist, etwas Bestimmtes über die Veränderlichkeit der Nebel zu ermitteln. In einem oder zwei Fällen scheint indes ein periodisches Schwanken kaum zweifelhaft zu sein. Einer der betreffenden Nebel befindet sich im Walfisch bei A. R. $2^h\ 26^m$, D—$1^0\ 32'$. Er konnte von demselben Beobachter (Schönfeld) mit dem nämlichen Instrument und unter günstigen Luftverhältnissen einmal gar nicht, ein anderes Mal ohne Schwierigkeit gesehen werden. Dazu kommen noch Beobachtungen weiterer Kenner, d'Arrest, Vogel, Winnecke, welch letzterer zuerst auf die Veränderlichkeit hinwies. Ein anderer Nebel im Löwen wurde vom älteren Herschel als sehr hell bezeichnet, vom jüngeren einige Jahrzehnte später schwach genannt (1830). Zehn Jahre hernach war er nach Boguslawski wieder sehr hell, 1856 erschien er Winnecke ziemlich hell, 1863 d'Arrest schwach, und endlich sah ihn 1878 und 1879 Winnecke wieder heller. Dieser Nebel verdient also weiter genau verfolgt zu werden. In neuerer Zeit haben auch Barnard und Bigourdan auf ähnliche Fälle veränderlicher Nebel aufmerksam gemacht, ersterer namentlich in bezug auf den sogenannten „Eulennebel", wie ihn sein Entdecker Lord Rosse nannte. Der

Nebel hatte nämlich eine frappante Ähnlichkeit mit zwei Eulenaugen: es befinden sich zwei Öffnungen in der leuchtenden Masse und in diesen je ein Stern, eben wie ein Augenstern. Letzthin betrachtete nun Barnard das Objekt mit seinen Rieseninstrumenten und entdeckte, daß sich diese Augensterne in den Augenhöhlen wesentlich verschoben hatten, so daß sie sich a u f der leuchtenden Masse befanden. Da die Beschreibung der auffälligen Form, wie sie Lord Rosse seiner Zeichnung beigab, mit dieser völlig übereinstimmte, so ist eine Täuschung Lord Rosses kaum annehmbar, ebensowenig aber bei Barnard. Der Nebel muß sich seit 1848 entweder verändert haben oder gewandert sein.

Nachdem wir die hauptsächlichsten Eigenschaften der Nebel im allgemeinen kennen gelernt haben, betrachten wir in der Reihenfolge, die uns der vermutete Entwickelungsgang dieser Gebilde vorschreibt, einige von ihnen im besonderen. Wir wenden uns zunächst dem interessantesten aller unregelmäßigen Nebel zu, dem im Schwertgehänge des Orion. (A. R. $5^h 30^m$, D—5° 57′.) Ein aufmerksames Auge findet ihn leicht, wenn in unseren Herbst- oder Winternächten das wundervolle Sternbild sich über den Horizont genügend erhoben hat, nahe unter den drei auffälligen Sternen, die den Gürtel des Orion darstellen und auch der Jakobsstab genannt werden. Es ist sehr merkwürdig, daß dieses mit bloßem Auge so leicht sichtbare Objekt doch, wie es scheint, erst mit dem Fernrohr entdeckt worden ist. Es wird zuerst von Cysat um 1620 erwähnt. Die früheste ausführliche Beschreibung liegt von Huygens aus dem Jahre 1659 vor; seitdem ist der Nebel von vielen anderen Astronomen beschrieben und gezeichnet worden. Holden hat eine umfassende Monographie über ihn herausgegeben, deren historisch zusammengestellte Zeichnungen wieder einmal einen interessanten Beweis dafür geben, wie grundverschieden das nämliche Objekt von verschiedenen Beobachtern aufgefaßt werden kann.

Um die Orientierung am Fernrohr (für das bloße Auge muß man sich das Bild umgekehrt denken) zu erleichtern, geben wir auf Seite 344 eine Photographie dieser Himmelspartie wieder, die Russell in Sydney 1890 aufgenommen hat. Wir sehen unten die drei Sterne zweiter Größe des Jakobsstabes, rechts oben steht ein weiterer Stern 2. Größe, der den einen Fuß des Orion bedeutet. Die Mitte des Bildes nimmt der Nebel ein. Die helleren wolkenartigen Stellen links schräg über dem Jakobsstabe sind Fehler der Platte, die man bei astrophotographischen Aufnahmen niemals zu retouchieren pflegt.

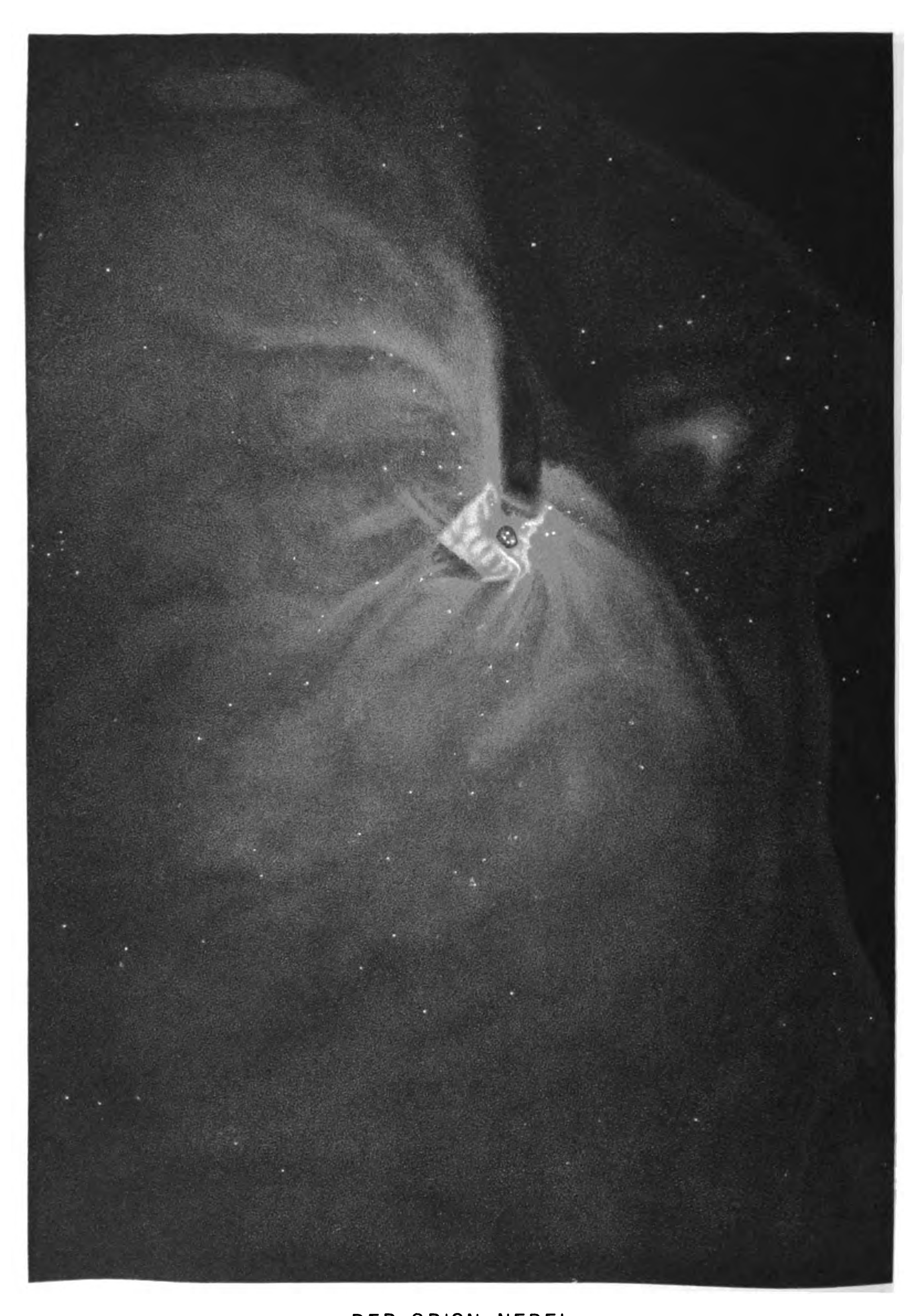
Die erste Photographie des Orionnebels überhaupt wurde von Draper am 30. September 1880 mit einem Instrument von 28 cm Öffnung bei 51 Minuten Expositionszeit aufgenommen. Im März 1882 erhielt Draper bei 137 Minuten Belichtung die auf Seite 346 abgebildete Photographie. Diese und die weit besseren aus neuerer Zeit, oder auch die vorzüglichsten Zeichnungen sind indes nicht imstande, auch nur ein annäherndes Bild von dem überwältigenden Eindruck zu geben, den dieses wunderbare Objekt in den lichtstärksten Sehwerkzeugen unserer Zeit gewährt. Da ist ein Gewirr von seltsamsten Gestaltungen, die jeder Beschreibung spotten: helleuchtende Regionen, in denen es bei ganz ruhiger Luft von unzähligen Lichtknoten wimmelt. Sie sind durchzogen von einem System dunkler Kanäle, welche die Nebelmasse in oft merkwürdig regelmäßig aussehende Teile, Dreiecke, Vierecke u. s. w. trennt. Ein dunkles, nach dem Inneren des Nebels hin fast genau rechteckig begrenztes Gebiet schiebt sich von obenher ganz auffällig in die leuchtende Masse, so daß sie bereits 1758 von Le Gentil in der auf Seite 347 stehenden schematischen Weise gezeichnet wurde. Mitten zwischen dieses Chaos von Einzelheiten sind Sterne bis zu den allerfeinsten Pünktchen gestreut; die auffälligsten vier derselben bilden die Form eines T r a p e z e s etwas hinter

der erwähnten dunkeln Öffnung, die man zuweilen das Löwenmaul zu nennen pflegt (siehe die beigeheftete Tafel). Rings um das Trapez herum liegt eine matter leuchtende Region, auch bemerkt man bei anderen, namentlich helleren Sternen, daß sie in ihrer Nähe die Nebelmaterie teilweise absorbiert zu haben scheinen. Deutlich ist eine innere, sehr helle



Photographische Aufnahme des Orionnebels von Draper, aus dem Jahre 1882. Vgl. Text, S. 345.

Region von ungemein ausgedehnten schwachen Nebelschleiern umgeben, die sich nach neueren Wahrnehmungen selbst bis zu den 20° entfernten Plejaden erstrecken sollen. Die innere Partie hat die Form eines fast genau rechtwinkligen Dreiecks; man hat sie die Region Huygens genannt. Merkwürdigerweise ist sie mit dem Trapez, das nordöstlich davon liegt, genau parallel orientiert, so daß die Parallelseiten des letzteren die gleiche Richtung haben wie die eine Seite des Huygensschen Dreiecks. Auch die zweite Seite des Dreiecks verläuft ziemlich nahe parallel zu einer entsprechenden Seite des Trapezes, und selbst die andere scheint sich in einer geradlinigen Abgrenzung der Huygensschen Region abzuspiegeln.



DER ORION-NEBEL.

Nach der in den Jahren 1859—63 in Cambridge (Nordamerika) hergestellten Zeichnung.

In der schönen Zeichnung, die in den Jahren 1859—63 in Cambridge (Nordamerika) hergestellt ist und heute noch zu den besten gehört, sind diese Details ohne weiteres zu erkennen (s. die beigeheftete Tafel). Sehr deutlich ist auf dieser Zeichnung ferner zu sehen, daß die schwächeren umgebenden Nebelmassen in vielfach gewundenen Armen und Strahlen von dem zentralen Dreieck ausgehen: weit ausgreifende Ausläufer sendet es in den Raum hinaus, die offenbar in genetischem Zusammenhange mit dem Kernnebel stehen. Die Windungen dieser Arme sind nicht ohne Gesetz: kehrt man die Spitze des Huygensschen Dreiecks nach oben, so wenden sich alle links von ihm ausstrahlenden Zweige nach rechts herum, alle rechten nach links. Würde man sich also auf der Cambridger Zeichnung die Zweige in diesem Sinne weiter verlängert denken, so müßten einige derselben weit über dem Dreieck von rechts und links zusammentreffen. Neueste photographische Aufnahmen, wie die auf Tafel „Nebel“ I, 1 bei Seite 340 wiedergegebene, die am 19. Oktober 1901 bei einer Stunde Belichtung auf dem Yerkes-Observatorium erhalten wurde, zeigen wirklich diese Vereinigung. Der Nebel erscheint wie ein großer Siegelring.


Zeichnung des Orionnebels von Le Gentil, aus dem Jahre 1758. Vgl. Text, S. 345.

Aus dieser flüchtigen Beschreibung haben wir zur Genüge gesehen, daß wir den Orionnebel streng genommen keineswegs mehr zu den ganz unregelmäßigen Gebilden dieser Art zählen dürfen. Erscheint er auch auf den ersten Blick wie ein unentwirrbares Chaos durcheinander wallender Gasmassen, so sehen wir doch, weiter forschend, wie auch hier schon die ordnenden Gewalten der Natur mächtig eingegriffen haben, um wenigstens die ersten großen gemeinsamen Züge in diese unermeßlich ausgedehnte Welt zu tragen. Mit tiefem Staunen lesen wir aus diesen übereinstimmenden Zügen, daß ein gemeinsames Gesetz die losen Nebelschleier zusammenhält und führt, deren Atomgewebe doch so unendlich dünn sein muß, daß unsere Luft wie eine zähe, pechähnliche Masse dagegen zu betrachten ist. Ahnen wir auch die Art der Gesetzmäßigkeit noch kaum, die hier zur Ordnung drängt, so ist doch wenigstens die eine Tendenz unverkennbar, die der Drehung der gesamten Masse, welche die Ausläufer in Windungen wieder zusammenführt und dem Ganzen die Gestalt eines spiraligen oder selbst eines Ringnebels gibt. Wir sehen also in diesem eigentümlichsten aller Nebel Anfänge zu allen Entwickelungsstufen vereinigt, die wir bei den anderen Nebeln gesondert wahrnehmen. An vielen Stellen vermag man in der Tat keinerlei Eingreifen einer ordnenden Kraft in das Chaos seiner Gasmassen zu entdecken. An anderen Stellen, namentlich da, wo Kanäle die leuchtenden Räume durchziehen, beginnt die Materie sich bereits zu einzelnen Knoten zusammenzuballen, die in der Zukunft die Zentren zur Bildung einzelner Sterne oder Sterngruppen zu werden scheinen. Beim Trapez hat sich diese Entwickelung schon vollzogen; die überwiegende Menge der Materie des Nebels in dieser Region ist zu Sternen verdichtet, so daß der Nebel hier viel schwächer leuchtend werden muß. Man könnte zwar gegen diese Vermutung einwenden, daß über die wahre Lage des Trapezes

zum Nebel nichts Sicheres bekannt ist, denn die vier Sternchen, zu denen sich in starken Fernrohren noch zwei weitere gesellen, können in Wirklichkeit weit vor dem Nebel und mit ihm in keinerlei physischem Zusammenhange stehen; der Zufall konnte es wohl einmal gefügt haben, daß die Lage der Sternchen gegen die Nebelregionen trotzdem so eigentümlich symmetrisch wäre, wie wir es vorhin beschrieben haben. Wäre dies an sich schon ein recht unwahrscheinliches Zusammentreffen, so macht es die spektralanalytische Untersuchung zur Sicherheit, daß Trapez und Nebel physisch zusammengehören. Sehr wertvolle Untersuchungen haben in dieser Hinsicht Campbell und Keeler auf der Lick-Sternwarte, bezw. auf dem Alleghany-Observatorium, durch die photographische Methode geliefert. Wir geben in der folgenden Tabelle die von ihnen gefundenen Wellenlängen der Linien des Nebels. Die Namen über der ersten und zweiten Kolumne bezeichnen die beiden Beobachter, deren Resultate wir hier nur zu dem Zweck getrennt wiedergeben, um die große Genauigkeit zu veranschaulichen, mit der man heute derartige Messungen auszuführen vermag.

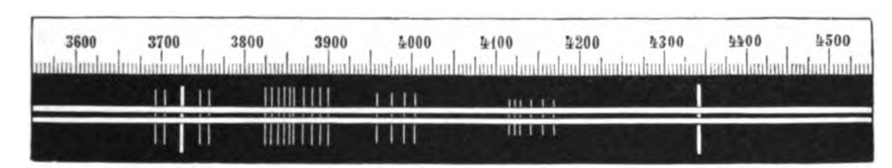
Die hellen Linien im Orionnebel nach Campbell und Keeler.

Campbell	Keeler	Linie	Campbell	Keeler	Linie
500,7	500,71	I. Nebellinie	410,2	410,10	H_δ sehr hell
495,9	495,90	II. Nebellinie	406,7	406,9	hell
486,1	486,15	H_β sehr hell	402 6	402,6	hell
471,6	471,6	hell	396,9	397,00	H_ε sehr hell
466,2	466,0	hell	388,9	388,92	H_ζ hell
447,2	447,12	sehr hell	386,9	386,89	hell
438,9	—	hell	383,5	383,6	H_η hell
436,4	436,5	hell	—	381,4	sehr schwach
434,1	434,06	H_γ hellste Linie	379,8	380,0	H_ϑ schwach
426,5	—	sehr schwach	377,0	—	H_ι schwach
423,0	—	sehr schwach	374,9	—	$H_\varkappa$ sehr schwach
414,3	—	schwach	372,7	372,65	sehr hell
412,1	—	schwach			

Außer diesen Linien wurden bei Anwendung orthochromatischer Platten im Gelb und Grün noch einige andere Linien gefunden, von denen die bei 587,6 als die *Heliumlinie* D_3 besonders nennenswert ist. Ferner ist die Linie 447,2, die im obigen Verzeichnis als sehr hell bezeichnet ist, hervorzuheben; es ist die *Orionlinie* (s. S. 338), die vordem von Copeland als helle Linie im Nebel nur vermutet wurde. Die Aufnahmen der beiden amerikanischen Forscher erstreckten sich auch auf die Trapezsterne, in denen fast alle hellen Linien des Nebelspektrums dunkel wiedergesehen wurden, insbesondere auch die Orionlinie unbekannten Ursprungs. Da namentlich die Nebellinien außerordentlich scharf hervortreten und sich gegen das Sternspektrum „wie eine Pfeilspitze" ausnehmen, so ist die Koinzidenz mit größter Genauigkeit festzustellen, und namentlich geht aus derselben auch mit Sicherheit hervor, daß die Trapezsterne gegen den Nebel keine Eigenbewegung haben. Das ist eine wichtige Tatsache. Wir werden nämlich später sehen, daß alle Sterne sich mit mehr oder minder großer Geschwindigkeit in allen erdenklichen Richtungen durch den Weltraum bewegen, und zweifellos trifft dies auch für die Trapezsterne zu. Die Beobachtung ergibt also, daß Sterne und Nebel dieselbe Straße ziehen, ein weiterer Beweis für ihre physische Zusammengehörigkeit. Eine andere interessante Wahrnehmung der Genannten beweist mit Bestimmtheit, daß die Sterne nicht vor dem Nebel sich befinden können. Einige der hellsten

Nebellinien erscheinen nämlich inmitten der dunkeln Sternlinien abermals hell, so wie wir es bei Protuberanzen bemerkten, die sich auf die Sonnenoberfläche projizierten. Hier muß sich also Nebelmaterie notwendig v o r den Sternen befinden.

Das unten abgebildete Spektrum des Orionnebels ist durchaus nicht in allen Teilen des ungeheuern Weltgebietes, das er einnimmt, gleich, wie dies von vornherein auch gar nicht anders erwartet werden konnte. Die Linien haben namentlich nicht überall dasselbe Helligkeitsverhältnis untereinander, was auf verschiedene physische Zustände in den verschiedenen Gebieten bei im allgemeinen gleicher chemischer Zusammensetzung schließen läßt. In dieser Hinsicht ist eine Beobachtung Campbells an einem kleinen planetarischen Nebel in der Nähe des Orionnebels von Interesse. Er beobachtete ihn in der nämlichen Weise, wie man die Form der Sonnenprotuberanzen aufzufassen pflegt, mit weit geöffnetem Spalt. Dabei wurde also ein Bild des Nebels von jeder seiner Linien erzeugt. Es zeigte sich nun, daß jedes dieser Bilder einen wesentlich anderen Umfang hatte; die hellsten Nebellinien, die dem unbekannten Stoffe zuzuschreiben sind, gaben ein viel kleineres Bild als die Wasserstofflinie. Daraus scheint zu folgen, daß hier der unbekannte Stoff nur die inneren Partien des



Spektrum des Orionnebels und der Trapezsterne. Nach photographischen Aufnahmen von Keeler und Campbell.

Nebels ausfüllt und von einer weiten Wasserstoffatmosphäre umgeben ist. Auf diese Weise ließe sich auch erklären, warum man jenen Stoff sonst in den fertig gebildeten Sternen nicht aufzufinden vermag, wenn man nämlich annehmen dürfte, daß er überall den Kern der Weltkörper zu bilden pflegt, wie in diesem Falle.

Eine geradezu wunderbare Vervollständigung erhielt unsere Kenntnis von der Gestalt des Orionnebels durch die Entdeckung eines ungeheuern gewundenen Nebelstreifens, die von Pickering bereits 1889 gemacht, aber nicht weiter beachtet wurde, bis Barnard den Streifen nochmals mit einer ganz kleinen, für eine Projektionslampe bestimmten Linse photographisch festhielt. Ebenso mit einer kleinen Linse (Zeiß-Unar, 31 mm Öffnung und 135 mm Brennweite) wurde das auf Seite 350 stehende Bild des ganzen Orion-Sternbildes von Wolf-Heidelberg erhalten, das die ungeheure Spirale sehr deutlich zeigt. Wir haben das Sternbild hier, abweichend von unserer Gewohnheit, nicht wie es im Fernrohr, sondern wie es mit dem bloßen Auge erscheint, orientiert, weil man ja das ganze Sternbild selbst in kleineren Fernrohren längst nicht mehr ganz übersehen kann. Wir sehen nahezu in der Mitte die drei Sterne des Jakobsstabes. Unten rechts die größte Sternscheibe ist Rigel, mit einer Aureole umgeben, die nicht in Wirklichkeit vorhanden ist, sondern von dem Widerschein von der Rückseite der Glasplatte herrührt. Der zweite Fußstern des Orion, unten links, ist unter dem Gewirr der übrigen Sterne auch noch deutlich zu erkennen, ebenso der rechte Schulterstern. Aber der gelbrote Beteigeuze, die andere Schulter des Jägers, ist unter den anderen, viel kleineren Sternen kaum noch herauszufinden; er hat auf der photographischen Schicht nur einen geringen Eindruck zurückgelassen. Unter dem Jakobsstab

hat sich der Hauptnebel sehr hell abgebildet. Das ganze Sternbild vom Jakobsstabe bis zu den beiden Fußsternen ist mit Nebelmaterien erfüllt. Man erkennt ohne weiteres die spiralige Anordnung der Lichtmaterie, die vom Hauptnebel zunächst aufwärts über den Jakobsstab nach rechts hinweg, dann gegen Rigel zu sich nach unten wendet, um schließlich nach links und dann nach oben sich um das Sternbild zu schlingen. Der Durchmesser der Spirale beträgt 14—15°, eine Ausdehnung, die selbst nach dem unfaßbaren Maße, nach dem wir diese fernsten Welten messen müssen, eine ungeheure zu nennen ist. Dabei scheinen hier noch nicht einmal die letzten Grenzen dieser gigantischen Spirale gefunden zu sein: jenseits des Rigel ist nach Barnard ein weiterer Streifen angedeutet, der in derselben Richtung gebogen ist und deshalb vielleicht einer zweiten Windung angehört Wie erstaunlich ist es für den Denkenden, zum äußersten verdünnte Materie, wie sie solche Lichthauche nur enthalten können, auf derart unermeßlich weite Gebiete im inneren Zusammenhange miteinander zu sehen, der allein eine Ausbildung zu Spiralen oder ähnlichen Formen zu schaffen vermag! Immer wieder werden wir beim Anblick solcher Wunder der Weltgestaltung von jener feierlich die Seele weitenden Empfindung erfüllt, die der Anblick des gestirnten Himmels allein schon in uns auslöst, und die ihren Ursprung in der bei tieferem Studium des Himmels sich immer mehr befestigenden Überzeugung von der großen Einheit einer weltschaffenden Kraft hat.



Sternbild des Orion mit der großen Nebelspirale. Aufgenommen von M. Wolf, Heidelberg. Vgl. Text, S. 349.

Sehen wir also in diesem Objekt in Wirklichkeit eine werdende Welt, so dürfte es uns nicht wundern, wenn man wirkliche Veränderungen darin feststellen würde. Da nun eine ganze Anzahl von Beobachtern solche Veränderungen wahrgenommen zu haben glaubt, so scheint es fast, als müßten wir in diesem Falle die früher geäußerten Zweifel über ähnliche Wahrnehmungen zurückdrängen und dieselben nicht nur als durch die Verschiedenheit der optischen Bedingungen hervorgerufen ansehen. Der ältere Herschel, ein Himmelsforscher, der sich selten täuschte, glaubte an die Veränderlichkeit des Orionnebels, und Struve, ein kaum minder kompetenter Beobachter, verglich namentlich die nach Huygens benannte innere, helleuchtende Region mit einem ewig bewegten Meere; mit wildem Ungestüm scheint hier die Schaffenskraft ein unermeßliches Gebiet des Weltalls zu durchpulsen,

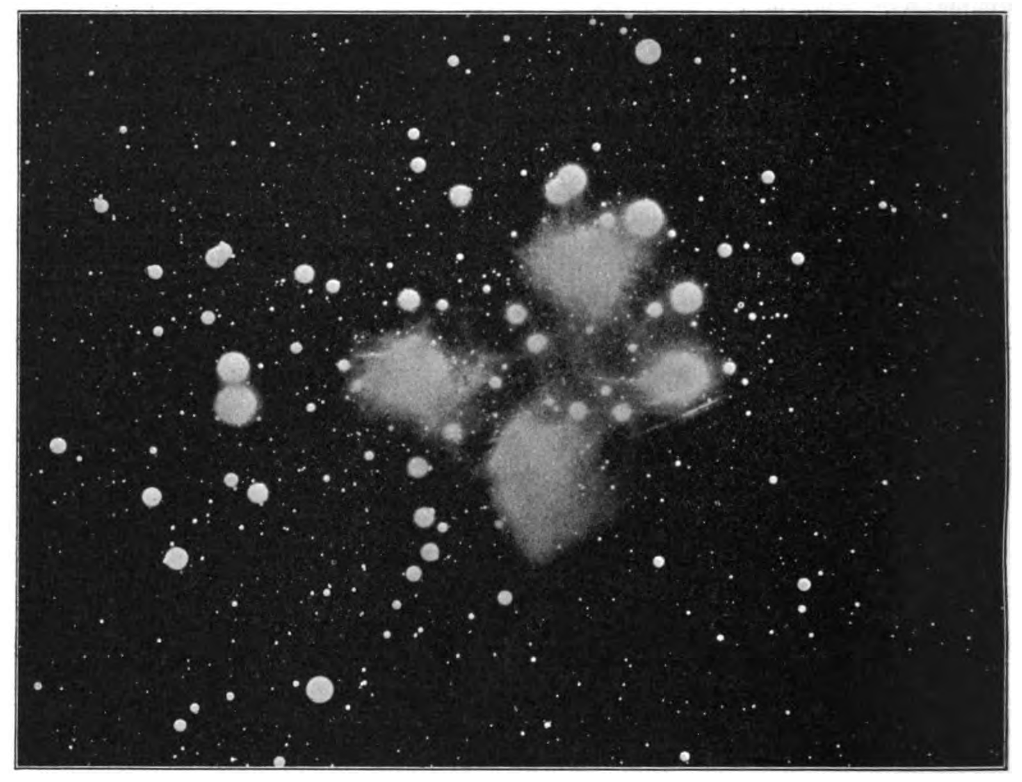
um in das Chaos Gestalt und Ordnung zu bringen. Der Umstand, daß sich im Gebiete des Orionnebels ungewöhnlich viele veränderliche Sterne befinden, spricht gleichfalls für die Veränderlichkeit des Nebels selbst.

Nächst dem hellen Kern ist wohl das auffälligste Detail des wunderbaren Objektes die ganz nebel- und sternleere Region östlich vom Kern, das Löwenmaul oder der Sinus Magnus. Fragen wir nach seinem Ursprunge, seiner Entstehungsweise, so müssen wir, wenn wir auf eine Erklärung nicht ganz verzichten wollen, uns auf bloße Vermutungen beschränken. Durch Zusammenziehen der an dieser Stelle ursprünglich wohl viel gleichmäßiger verteilten Materie kann die tiefdunkle Lücke kaum entstanden sein, wie wir es für die schwächer leuchtende Stelle in der Umgebung des Trapezes vielleicht annehmen konnten; denn es sind keine Sterne vorhanden, welche die Materie in sich aufgenommen hätten. Suchen wir nach einer anderen Ursache, so drängt sich uns beim Anblick dieses Gebietes unwillkürlich der Gedanke auf, es müsse hier von außen her ein Etwas eingedrungen sein, das die Nebelmaterie vor sich hingeschoben habe. Hierfür spricht nicht nur die eigentümlich scharfe Begrenzung der dunkeln Region, sondern auch die vor ihr befindliche Verdichtung und ganz besonders die wirbelförmige Ausbildung der vielen Verzweigungen und Ausläufer des Nebels, die mit der gedachten Bewegungsrichtung des unbekannten Eindringlings im Einklang stehen.

Da wir uns von unseren irdisch kleinen Anschauungen nicht losmachen können, die allerdings, wie wir wiederholt erfahren müssen, nicht immer auf die Dimensionen des Weltgebäudes übertragen werden dürfen, während im allgemeinen die Gleichheit der waltenden Naturgesetze Analogieschlüsse zulässig erscheinen läßt, so mögen wir versuchen, uns beim Anblick einer Tabakswolke einige Stadien der Weltbildung zu vergegenwärtigen. Es ist dieses Beobachten der wirbelnden Gestaltungen des Tabaksrauches keineswegs eine müßige Spielerei. Schon der geniale Tyndall hat an die Bewegungen der Tabakswolken tiefsinnige Betrachtungen über das Naturwalten geknüpft. Oft bildet der Tabaksrauch ohne andere Einwirkung als die der im Zimmer vorhandenen Luftbewegung Gestalten, die auf das lebhafteste an die Formen gewisser Nebel erinnern; namentlich sind ganz langsame, wirbelförmige Bewegungen sehr häufig zu beobachten. Diese werden in einer ruhig liegenden Rauchmasse selbst durch äußerst langsames Einführen eines Fremdkörpers fast regelmäßig eingeleitet, wenn man andere störende Wirkungen nach Möglichkeit ausschließt. Man sieht dann ganz ähnliche Bildungen entstehen, wie sie der Orionnebel aufweist. Wir werden bei der Fortsetzung unserer Betrachtungen über die Einrichtung des Weltgebäudes darauf achten, ob sich sonstwo Andeutungen von solchem Eindringen eines Weltkörpers in einen anderen oder doch eines Zusammentreffens zweier derselben finden.

Nicht weit haben wir vom Orionnebel zu gehen, um einem Gebilde dieser Art zu begegnen, das, wie wir schon andeuteten, möglicherweise mit dem ersteren in Zusammenhang steht. Dies wird auch durch die ungeheure Barnard-Pickeringsche Spirale wahrscheinlich gemacht, die wir vorhin beschrieben. Wir meinen die diffusen Nebelmassen, die sich teilweise innerhalb der Plejadengruppe befinden, teils dieselbe bis in ziemlich weite Entfernung umgeben. Die Plejaden selbst gehören natürlich an sich nicht mehr zu jener Kategorie der Himmelskörper im ersten Stadium des Werdens, die wir gegenwärtig ins Auge fassen; sie sind wirkliche fertige Sterne mit Fraunhoferschen Linien im Spektrum, das für alle Sterne der Gruppe mit wenigen Ausnahmen den gleichen Charakter trägt. Es

folgt hieraus, daß die Plejadensterne, die aus später ausführlich mitzuteilenden Gründen eine physisch zusammengehörende Gruppe bilden müssen, immerhin dem frühesten Stadium ihres Sterndaseins angehören. Wir wissen schon, daß es Tempel war, der zuerst mit einem ganz kleinen Fernrohr eine ausgedehnte Nebelmasse in der Gruppe beim Stern Merope entdeckte, und daß die Existenz dieses Merope-Nebels vielfach bestritten worden ist; heute unterliegt sie keinerlei Zweifel mehr, da jede nur genügend lange ausgedehnte photographische Aufnahme mit entsprechenden Instrumenten ihn zeigt. Wir geben hier eine Auf-

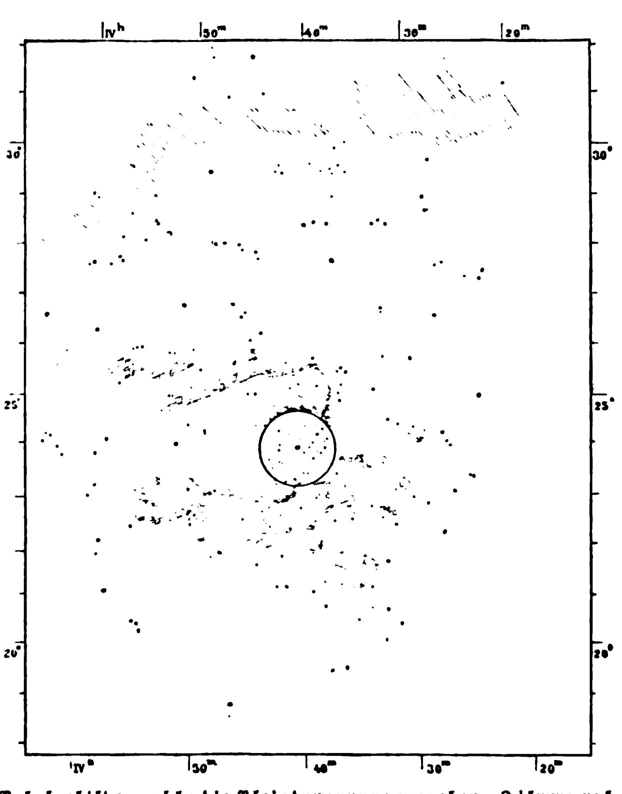


Innennebel der Plejaden. Aufgenommen von M. Wolf, Heidelberg.

nahme des inneren Plejadennebels wieder, die am 22. Dezember 1902 bei fünfstündiger Belichtung von Wolf in Heidelberg erhalten wurde.

Immer ausgedehntere Belichtungszeiten haben zur Entdeckung weiterer Nebelmassen geführt, welche die Plejaden, diese schönste aller Sterngruppen des nördlichen Himmels, durchziehen. Im Dezember 1893 hat Barnard in ähnlicher Weise, wie wir es bei Gelegenheit des Orionnebels beschrieben haben, die Umgebung der Plejaden photographisch aufgenommen, wobei er die Belichtungsdauer über zwei Nächte ausgedehnt hat. In der Nacht des 6. Dezember exponierte er eine Platte 5 Stunden lang, verhüllte dann das Instrument sehr sorgfältig, um das Eindringen jeder Spur von Tageslicht zu verhindern, und setzte die Exposition am 8. Dezember (am 7. Dezember war das Wetter schlecht) weitere $5^1/_4$ Stunden fort; im ganzen wirkten also die von jenen Regionen des Weltalls zu uns herabkommenden verglimmenden Lichtschimmer 10 Stunden und 15 Minuten lang auf die empfindliche

Platte, die in dem 20sten Teil einer Sekunde reichlich imstande gewesen wäre, alle Details einer sonnenbeleuchteten Landschaft festzuhalten. Auf der Platte zeigten sich ganz schwache, in viele Fetzen zerrissene Schleier, die Barnard in der hier unten dargestellten Zeichnung skizziert hat. Der eingefügte Kreis umgrenzt das Gebiet, in dem die bisher gekannten Nebel liegen. Wir sehen, daß auch diese Gruppe matter Lichtwolken ein Gebiet von etwa 10° Durchmesser einnimmt und demnach kaum dem großen Spiralgebilde im Orion an scheinbarer Ausdehnung nachsteht; irgendeine Andeutung einer geometrischen Ausgestaltung wie bei dem letzteren ist hier allerdings nicht zu entdecken. Da auch in diesem Falle ein physischer Zusammenhang zwischen der Stern- und der Nebelgruppe wahrscheinlich ist, so ist die Vermutung nicht abzuweisen, daß diese Nebelfetzen die letzten übriggebliebenen Reste einer schon fertig verdichteten Sternenwelt sind, daß also auch dieser Nebel keineswegs den allerersten Entwickelungsstadien angehört, für die wir einen zweifellosen Vertreter bisher vergebens suchten und wohl deshalb niemals finden werden, weil die physischen Bedingungen, unter denen dieser erste Werdeprozeß der Welten vor sich geht, vermutlich derartige sind, daß wir auf dem einzigen Wege des Lichtes, der uns mit ihnen verbindet, keine Nachricht erhalten können.



Nebelgebilde, welche die Plejadengruppe umgeben. Zeichnung nach einer photographischen Aufnahme von Barnard.

Während die Räume des eigentlichen Orionnebels noch verhältnismäßig dicht mit Nebelmaterie erfüllt sind und sich bisher nur wenige Sterne, vornehmlich die des Trapezes, daraus entwickelt haben, ist die Masse des Plejadennebels bei sehr viel mehr Sternen nur noch gering. Bei einem anderen merkwürdigen Gebilde der südlichen Himmelshälfte ist dieses Verhältnis der fertiggebildeten Sterne zu den Nebelmassen für die ersteren noch weit günstiger, nämlich bei den beiden Kapwolken, nach ihrem ersten europäischen Entdecker auch Magalhães-Wolken genannt. Dem bloßen Auge durchaus auffällig, machen sie eben den Eindruck von kleinen Wolken oder besser von losgelösten Stücken der Milchstraße, die in südlichen Breiten bekanntlich viel leuchtender erscheint als unter der dunsterfüllten Atmosphäre des Nordens. Dabei finden sie sich jedoch ziemlich weit von der Milchstraße entfernt, so daß man sie als ganz selbständige Objekte zu betrachten hat (vergleiche

die Karte des südlichen Himmels bei S. 314). Die große Kapwolke füllt ein Gebiet von über 40 Quadratgraden mit hellem Lichtschein aus, der in regellosem Durcheinander von völlig unlöslichen Nebelmassen, dichtgedrängten Sternhaufen und Sternen aller Größenklassen von der siebenten abwärts angefüllt ist. John Herschel, der während seines für die Erforschung der südlichen Himmelshälfte ungemein fruchtbaren Aufenthalts am Kap der Guten Hoffnung dieses glänzende Gebilde eingehender untersuchte, verzeichnete darin 278 getrennt stehende Nebel und Sternhaufen und außerdem etwa 600 Sterne der siebenten, achten und neunten Größenklasse. Dabei sind 50—60 Objekte, die sich in der Nähe der Wolke finden, nicht mitgezählt. Wir geben hier die schöne Aufnahme wieder, die auf der Arequipa-Station des Harvard-College-Observatoriums erhalten wurde. Irgendeine Gestalt in diesem Gewirr von Welten zu entdecken, unter denen sich alle Stadien der Entwickelung vorfinden, möchte selbst der kühnsten Phantasie unmöglich werden; dennoch kann solch ein dichtes Zusammenstehen von Hunderttausenden von Weltkörpern, die bei der Auszählung aller Sternhaufen der Großen Kapwolke sich ergaben, unmöglich ein zufälliges sein; ein gemeinsames Band muß sie verbinden, und gemeinsame Züge würden sich entdecken lassen, wenn unsere Kenntnisse sich entsprechend erweitern könnten. Auch von der „Kleinen Kapwolke" geben wir hier eine Aufnahme von Arequipa. Links sehen wir einen aus Tausenden dichtgedrängter Sterne bestehenden Sternhaufen unweit der Wolke. Wiederholte Aufnahmen dieser letzteren haben erwiesen, daß gegen tausend der ihr angehörenden Sterne ihre Lichtstärke verändern. Wir werden später sehen, wie diese Eigenschaft auf lebhafte Entwickelungsvorgänge in diesen Welten hindeutet.

Wir kehren von diesem Abstecher auf das Gebiet verwickelter Anhäufungen von Weltkörpern, deren es am Himmel eine große Menge gibt, zurück zu den eigentlichen, in ihrer physischen Zusammensetzung einfachen Gasnebeln, von denen bereits in den allgemeinen Betrachtungen gesagt wurde, daß sich in dieser Klasse hauptsächlich spiralige und planetarische Nebel befinden. Der berühmteste Repräsentant der Spiralnebel ist der in den Jagdhunden (N. G. C. 5194, 5195. A. R. $13^h\ 24^m$, D + 47,9°). Wir geben drei verschiedene Abbildungen davon, um wiederum zu zeigen, wie schwierig es ist, solche feinen Nebelgestaltungen selbst mit den besten optischen Mitteln richtig aufzufassen, und wie ungemein große Dienste hier die Photographie leistete. Der Nebel befindet sich etwas unterhalb (südlich) des letzten Deichselsterns des Himmelswagens und ist schon mit kleinen Fernrohren leicht zu sehen, freilich nur als Doppelnebel. Selbst unter dem so außerordentlich durchsichtigen Himmel Capris konnte der Verfasser mit einem Zeißschen Vierzöller nicht die geringste Andeutung einer spiraligen Gestalt erkennen. H. C. Vogel zeichnete ihn an dem großen Wiener Refraktor, wie ihn Tafel „Nebelflecke" II, Fig. a (bei S. 361) zeigt; die Tafel „Nebel" II, Fig. 3 (bei S. 340) gibt eine photographische Aufnahme der Yerkes-Sternwarte und auf unserer Tafel „Spiralnebel", bei S. 356, ist er unter Nr. 5 nach einer photographischen Aufnahme von M. Wolf in Heidelberg wiedergegeben, die, wie die übrigen auf dieser Tafel, im Winter 1906/07 mit einem vorzüglichen Zeißschen Reflektor von 72 cm Öffnung erhalten wurde. Wegen der gegenüber der photographischen Aufnahme fehlenden Einzelheiten der Vogelschen Zeichnung erkennt man auf ihr am deutlichsten die charakteristische Gestalt des wunderbaren Gebildes. Man sieht von einem stark kondensierten Zentrum aus, das sternartig verdichtet ist, eine fast regelmäßige Spirale sich winden, die an verschiedenen Stellen ihrerseits Verdichtungen zeigt. Eine der kräftigsten derselben folgt



Die große Kapwolke.

Die kleine Kapwolke.

Die beiden Kapwolken,

photographisch aufgenommen vom Harvard College-Observatorium in Arequipa.

einem Stern, der mitten in der vor dem Stern sehr schwach leuchtenden Spirale steht; es hat den Anschein, als ob der Stern hier die Materie aufgesogen und hinter sich kometenartig angesammelt hätte. Dieser Schweif beschreibt einen vollen Halbkreis, zunächst konzentrisch zur inneren Spirale, während er sich dieser an seinem Ende nähert. Ihm wiederum parallel ist ein Teil einer dritten Windung zu verfolgen, und dicht unter diesem Gebilde liegt ein kleiner, gleichfalls in der Mitte sternartig verdichteter Nebel, der nach zwei Seiten Ausläufer gegen den großen Nebel hinsendet und in seiner Form deutlich angibt, daß auch diese Verdichtung einem weiteren Zweige der Spirale angehört. Die beiden untereinander völlig übereinstimmenden und doch mit ganz verschiedenartigen Instrumenten erhaltenen Photographien aber zeigen, wie zwischen diesen Hauptwindungen noch eine große Menge von Abzweigungen Verbindungen herstellen. Insbesondere sieht man auf ihnen, daß von der Zentralverdichtung zwei, nicht nur ein Spiralzweig, wie auf der Vogelschen Zeichnung, ausgehen, deren Wurzeln sich diametral gegenüberstehen.

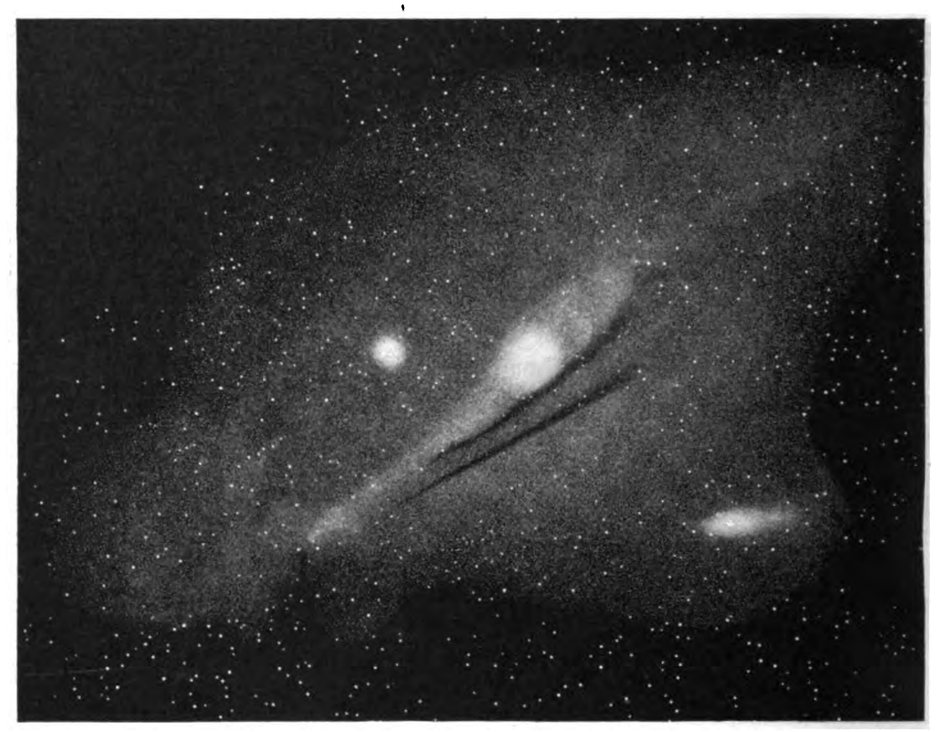
Die spiraligen Windungen deuten offenbar auf eine kreisende Bewegung des ganzen Gebildes hin, und wenn wir nach der Ursache dieser Bewegung fragen, so mag uns wohl der Gedanke auftauchen, daß wir sie in einem Zusammentreffen der letzterwähnten Verdichtung mit der größeren Nebelmasse finden könnten. Alle Weltkörper haben, wie wir wissen, ihre besonderen Eigenbewegungen; wenn nun vermöge derselben irgendein Weltkörper im Vorbeiziehen auch nur oberflächlich in eine jener Nebelmassen eindringt oder durch seine Anziehungskraft eine entsprechende Wirkung übt, so ist die Umformung der Gasmassen zu einer Spirale eine notwendige physikalische Folge, auch wenn der eindringende Körper vorbeistreifend den Nebel wieder ganz verläßt. Hier haben wir bereits den zweiten Fall, in dem wir aus der äußeren Form eines Weltkörpers das Zusammentreffen mit einem anderen glauben herauslesen zu können. Der erste Fall betraf den Orionnebel. Wir werden auch diese Vermutung eventuell mit anderen Wahrnehmungen in Zusammenhang bringen können.

Es ist sehr auffällig, daß die Gestalt der Spiralnebel, deren Entstehung doch eine bestimmte Gesetzmäßigkeit annehmen läßt, so häufig angetroffen wird. Je mehr wir durch die Fortschritte der photographischen Forschung in die Details dieser Himmelskörper eindringen, desto häufiger wiederholt sich der Fall, daß Nebel, die früher in eine andere Klasse geordnet waren, in die der Spiralnebel eingereiht werden müssen. Keeler, der zu jung verstorbene zweite Direktor der Lick-Sternwarte, glaubt nach seinen Erfahrungen an den Rieseninstrumenten, die ihm zur Verfügung standen, daß überhaupt die überwiegende Zahl aller Nebel sich bei genügend verstärkten Mitteln als spiralig herausstellen würden. Jedenfalls könne man wohl 12,000 solcher Objekte am Himmel schon heute als solche erkennen. Auch Wolf erwähnt, daß die kleinen photographischen Nebel, an denen man keine sonstigen Einzelheiten mehr erkennt, meist von ovaler Form sind und dadurch ihre spiralige Natur andeuten. Unsere Tafel „Spiralnebel" (bei S. 356) enthält in Nr. 4 ein Gebilde, das dem Nebel in den Jagdhunden ganz ungemein ähnlich sieht, nur fehlt hier ein zweiter Lichtknoten am äußeren Ende der Spirale.

Vergegenwärtigen wir uns, daß alle diese sich einer geometrischen Form nähernden Gebilde sich in einem dreidimensionalen Raume befinden und zweifellos gleichfalls nach drei Richtungen ausgedehnt sind, von denen wir immer nur zwei Dimensionen sehen, so muß es uns noch mehr wundern, daß so viele Spiralnebel entdeckt werden, deren Zweige ganz oder doch sehr nahe in der senkrecht die Gesichtslinie schneidenden Ebene liegen. Denn wissen

wir auch nichts Sicheres über die dritte Raumdimension dieser Gebilde, so macht es der Anblick der freiliegenden Spiralen zum mindesten wahrscheinlich, daß sie im allgemeinen eine flache Form haben. Schraubten sich diese Zweige im Verhältnis zum scheinbaren Durchmesser des Nebels sehr weit in der Richtung zu uns her oder von uns hinweg in den Raum hinein, so müßten sie sich offenbar mehr aufeinander projizieren, und der Charakter der Spirale würde daher für unseren Anblick meist verloren gehen.

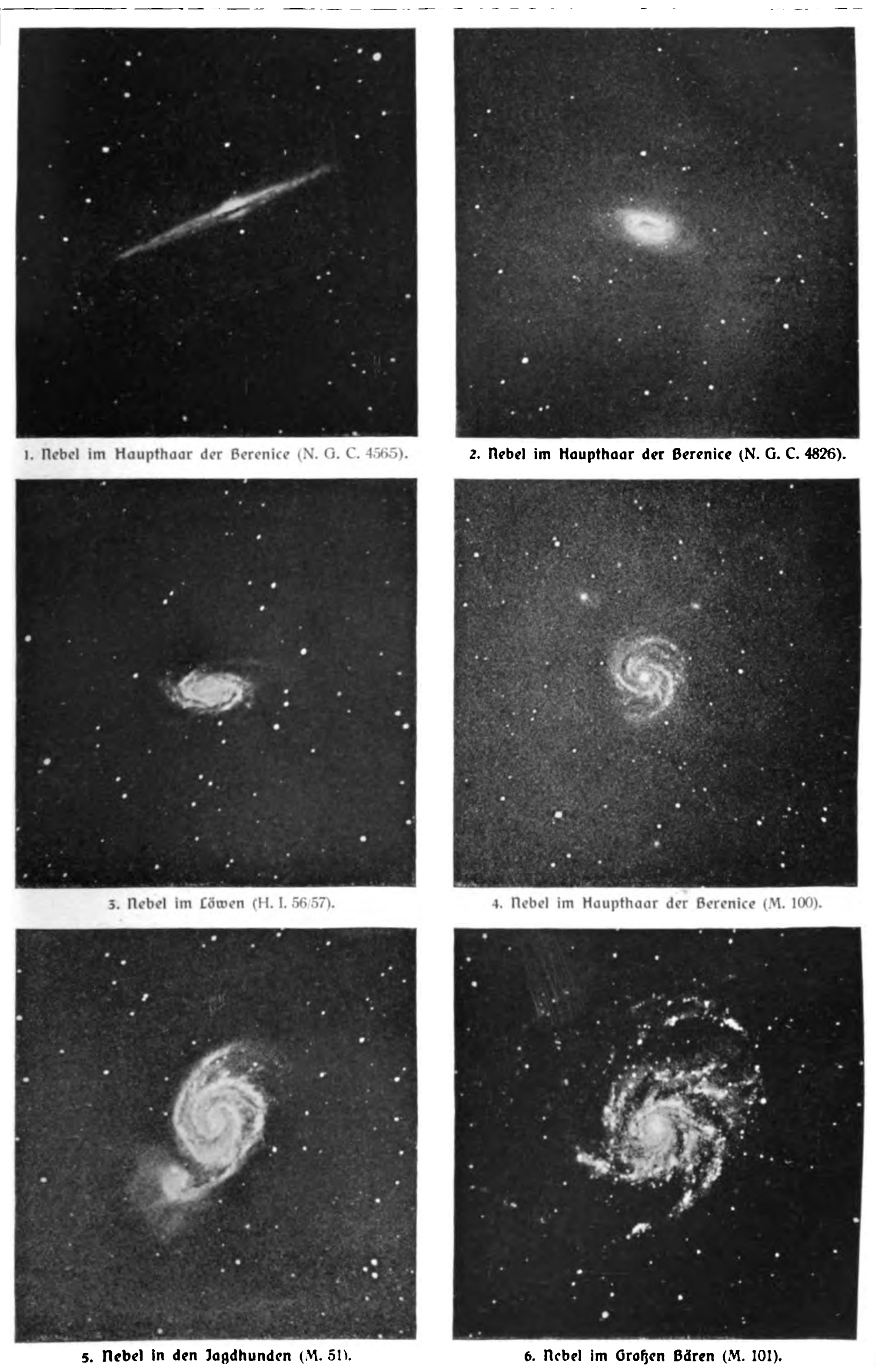
Sind die Spiralnebel im großen und ganzen flach gebaut, und hat die Lage ihrer größten Ebene im Weltgebäude keine bevorzugte Richtung, wofür ein Grund nicht zu finden



Der Andromedanebel. Nach einer Zeichnung von Trouvelot. Vgl. Text, S. 357.

wäre, so müssen wir mindestens ebenso viele Nebel dieser Art von ihrer schmalen Seite sehen wie von ihrer flachen. Im ersteren Falle werden sie bei besonders normaler Ausbildung etwa die Gestalt einer flachen Linse zeigen, die Spiralwindungen werden verschwinden, in der Mitte der Linse wird eine rundliche Verdichtung hervorleuchten, die sich gewöhnlich im Zentrum der Spirale befindet; auch mehr gegen den Rand der Linse zu wird man vielleicht hier und da geringere Verdichtungen sehen, wie man sie in den offen sichtbaren Spiralen bemerkt. Wir werden dadurch zu den elliptischen Nebeln übergeführt. Einen solchen enthält unsere beigeheftete Tafel „Spiralnebel" unter Nr. 1. Der eben genannte Nebel macht hier fast den gleichen Eindruck wie das berühmteste Objekt dieser Art in Fernrohren geringer Dimensionen, der große Andromedanebel, nur sehen wir ihn noch mehr verkürzt.

Der Andromedanebel ist noch ganz gut mit dem bloßen Auge zu erkennen; man findet ihn sehr leicht, wenn in den Winternächten das strahlende W der Cassiopeja recht



1. Nebel im Haupthaar der Berenice (N. G. C. 4565).

2. Nebel im Haupthaar der Berenice (N. G. C. 4826).

3. Nebel im Löwen (H. I. 56/57).

4. Nebel im Haupthaar der Berenice (M. 100).

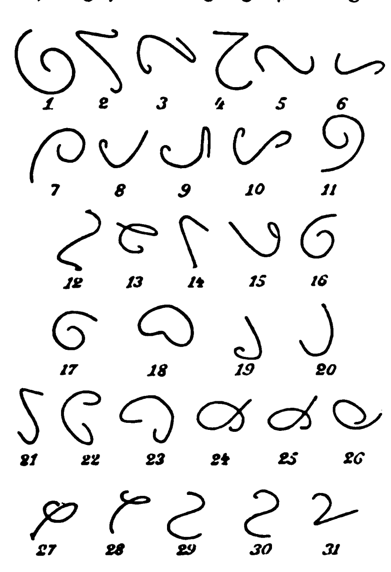
5. Nebel in den Jagdhunden (M. 51).

6. Nebel im Großen Bären (M. 101).

Spiralnebel,

aufgenommen von M. Wolf in Heidelberg im Winter 1906/07 mit dem Zeißschen Reflektor von 72 cm Öffnung.

hoch am Himmel steht. Die Zickzackzüge dieses W sind ungleich, der eine Zug etwas flacher als der andere; wenn man nun den an der tiefsten Spitze stehenden Stern, der also von den fünf Sternen am weitesten vom Himmelspol absteht, mit dem Polarstern verbindet und die gerade Linie nach Süden hin weiter verlängert, so trifft sie den Nebel ziemlich genau auf der halben Entfernung, die zwischen dem Cassiopejastern und dem Polarstern liegt. Der Nebel ist zuerst im Jahr 1612 von Simon Marius im Fernrohre gesehen worden; dieser Astronom schildert ganz charakteristisch seinen Eindruck, indem er den Nebel mit einer Kerzenflamme vergleicht, die man durch ein Hornblatt ansieht. So stellt sich der Andromedanebel in unseren gewöhnlichen Operngläsern heute dar. In mittleren Fernrohren tritt immer deutlicher eine zentrale, rundliche, wenn auch sehr diffus begrenzte Verdichtung hervor. In größeren Instrumenten blitzen in dem Nebel und in seiner näheren Umgebung eine Unzahl von kleinen Sternen auf, die indes wahrscheinlich nur zum geringsten Teile mit dem Nebel in innerem Zusammenhange stehen, der sich als echter, unlösbarer Nebel mit hellem Linienspektrum erweist. In dem großen Washingtoner Refraktor sah zuerst Trouvelot zwei dunkle Kanäle, die, in der Längsrichtung etwas divergierend, den elliptischen Nebel durchzogen; die Trouvelotsche Abbildung ist Seite 356 wiedergegeben. Man hat lange Zeit nicht gewußt, was man mit diesen sonderbaren Kanälen anfangen solle, und, wie es gewöhnlich mit Objekten geschieht, die man nicht zu deuten weiß, hat man auch hier wieder an ihrer Existenz überhaupt gezweifelt, bis der schon mehrfach erwähnte Himmelsphotograph Roberts die Geduld hatte, eine mehrstündige Exposition des Nebels auszuführen, die sofort das Rätsel löste.



Verschiedene Projektionen einer Drahtspirale. Nach Holden. Vgl. Text, S. 358.

Wir bilden auf Tafel „Nebel" I, Fig. 2 bei S. 340 eine vier Stunden belichtete Aufnahme der Yerkes-Sternwarte vom 18. September 1901 ab. Da haben wir die wahre Natur der „Kanäle" klar vor Augen: es sind die Lücken zwischen spiraligen Windungen, die wir von der Seite sehen. Die Analogie mit dem Spiralnebel in den Jagdhunden im besonderen geht so weit, daß man auch beim Andromedanebel eine Verdichtung vorfindet, die Trouvelot noch innerhalb der nebeligen Umgebung zeichnete. Die Ausläufer dieser Verdichtung weisen hier gleichfalls deutlich auf die Zentralmasse hin, und es ist nicht zweifelhaft, daß ein innerer Zusammenhang die beiden Objekte verbindet. Die zentrale Verdichtung ist scheinbar von mehr kugelförmiger Gestalt. Auch schon von ihr sieht man die Materie in mehrfachen Ästen in den Raum hinaus wirbeln.

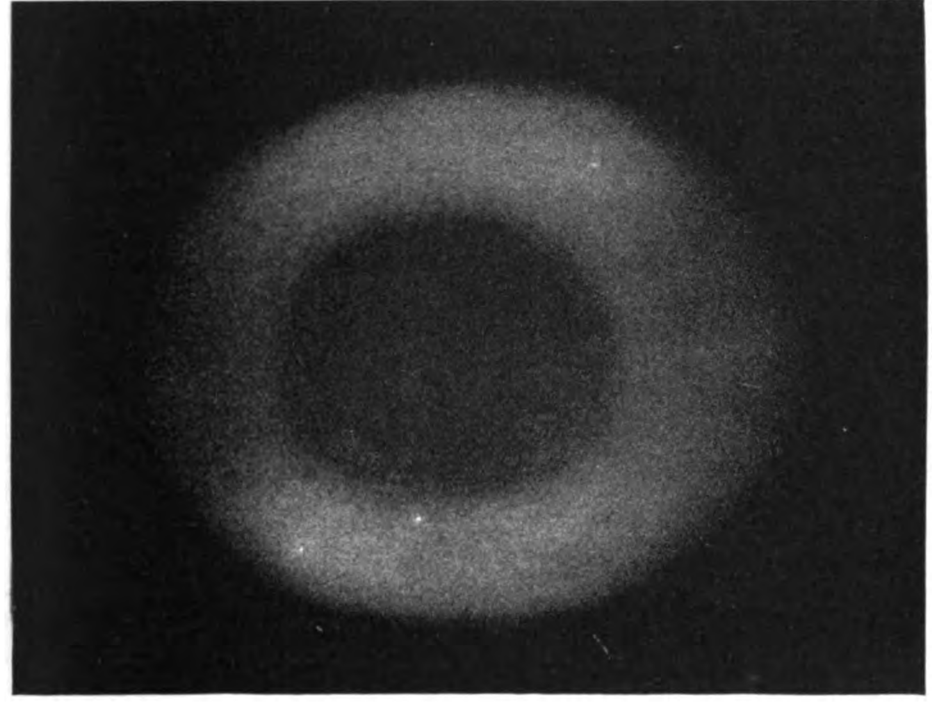
Der Spiralnebel in den Jagdhunden und der Andromedanebel stellen gewissermaßen extreme Fälle dar, zwischen denen eine große Zahl von Zwischenlagen zur Richtung unserer Gesichtslinie am Himmel auffindbar sein muß, wenn unsere Voraussetzungen richtig sind. Diese Zwischenlagen müssen sogar bedeutend zahlreicher und vielgestaltiger sein als die der ausgesprochen spiraligen und der elliptischen Nebel, denn es befinden sich zwischen der horizontalen und vertikalen Lage unendlich viele Neigungswinkel, unter denen wir solche

Spiralen sehen können. Holden hat in dieser Hinsicht interessante Experimente mit einem Stückchen Draht angestellt, dem er nach vielen Versuchen eine gewisse spiralige Form gab. Dieser Drahtspirale oder besser Helikale, wie man fachmännisch Spiralen bezeichnet, die aus einer Fläche schraubenförmig heraustreten, gab Holden verschiedene Lagen zu einer weißen Fläche, auf die sie ihren Schatten warf, und photographierte diese Schatten; es entstanden so die zahlreichen, auf Seite 357 abgebildeten Figuren. Aus diesen Grundlinien ließen sich nun fast alle Nebelformen, die nicht zu den ganz unregelmäßigen gehören, konstruieren. Wir haben hier die wechselvollsten Gestalten vor uns, die kaum mehr an einen spiraligen Charakter erinnern. Auch das scheinbar ganz unregelmäßige Nebelgebilde, das wir in der Tafel „Nebel" III, Fig. 6, wiedergeben, und das an eine ausgestreckte Tabakswolke erinnert, läßt bei näherem Hinblick eine von der Seite gesehene Schraubenform erkennen.

Anderseits begegnen wir am Himmel den schönsten und unzweifelhaftesten Übergangsformen, wie eine solche z. B. sich in dem Nebel N. G. C. 2905 darstellt. Die auf Tafel „Nebelflecke II" (bei S. 361) in Figur d gegebene Zeichnung ist am großen Wiener Refraktor ausgeführt. Wir haben hier offenbar eine sehr regelmäßige Spirale vor uns, die wir unter einem Neigungswinkel von etwas mehr als 45° sehen. Die Tafel „Spiralnebel" (bei S. 356) enthält unter 3 eine ganz ähnliche Form. In Fig. 2 wird die spiralige Form nur durch den dunkeln Kanal angedeutet. Noch eine Fülle ähnlicher Formen könnten wir anführen; der große Andromedanebel selbst gehört zu diesen Übergangsformen, deren Hauptebene nicht genau in unserer Gesichtslinie liegen. Viel extremer sind bereits die beiden Nebelformen N. G. C. 4565 und der Doppelnebel 4627 und 4631, beide am Wiener Refraktor gezeichnet, wie es die Tafel „Nebelflecke II", Figur c u. e, wiedergibt. Ersterer ist auch in unserer Tafel „Spiralnebel" unter 1 enthalten. Trotz ihrer außerordentlichen Schmalheit sind auch in ihnen noch Kanalfurchen zu erkennen. Bei dem ersteren ist die Furche genau parallel zur großen Achse, bei dem anderen durchqueren dunkle Linien den Nebel in einer Weise, daß man die Spirale dadurch wenigstens ahnt; sehr merkwürdig ist es auch hier wieder, daß ein rundlicher Nebel den spiraligen begleitet. Der Anblick dieser sehr schmalen Gestalten, deren Details zeigen, daß man auch bei ihnen immer noch nicht auf die Schärfe der Linsenform blickt, muß notwendig zu dem Schlusse führen, daß diese Gebilde ungemein dünn sind, etwa so dünn wie die Saturnringe. Letztere verschwinden bekanntlich vollkommen, wenn ihre Fläche genau in unsere Gesichtslinie rückt. Manche sich solcher extremen Lage nähernde Nebelgebilde werden uns aus demselben Grunde unsichtbar bleiben.

Eine in einem besonderen Sinne extreme Form der Spiralnebel sind die Ringnebel, unter denen der in der Leier der bekannteste und auffälligste ist. Er liegt etwas unterhalb der Wega, nahe an der Grenze der Milchstraße zwischen den Sternen β und γ der Konstellation und ist ein ganz regelmäßiger elliptischer Ring, so daß man wegen dieser Regelmäßigkeit annehmen muß, daß in Wirklichkeit dieser wunderbare Weltkörper kreisrund ist und nur durch die Projektion in einer Richtung stark elliptisch verkürzt erscheint. Unsere Abbildung auf Seite 359 gibt ihn nach der Trouvelotschen Zeichnung wieder; der Längsdurchmesser dieser Ellipse beträgt nach Secchi 72,2", der kleinere 60,4". Der Ring, schon in mittleren Fernrohren hell leuchtend und sicher als solcher erkennbar, zeigt auch in den besten Instrumenten eine fast gleichmäßige Verteilung des Lichtes; nur ganz allmählich wächst die Intensität von dem einen Ende der großen Achse nach dem anderen zu. Auf einer Seite scheint ein Anhängsel sich allmählich in den Raum zu verlieren. Man hatte lange glauben müssen, daß man es hier tatsächlich mit

einem wirklichen Ringgebilde zu tun hätte, die sonst am Himmel sehr selten sind. Nach Secchi gibt es deren überhaupt nur vier. Wenn man es sich wohl vorstellen kann, daß aus den Spiralwindungen eines Nebels schließlich Ringe werden, so fehlte doch hier der Zentralkörper, von dem die ordnende Gewalt ausstrahlen konnte. Man hatte nie gesehen, daß Materien ihr Zentrum fliehen; denn was man sehr unpassend als Fliehkraft bezeichnet, kann, wie wir im zweiten Hauptteil sehen werden, nicht anders zu kreisenden Bewegungen, also Ringbildung, führen, als beim Vorhandensein einer zentralen, anziehenden Masse. Als bereits Messier



Der Ringnebel in der Leier. Nach einer Zeichnung von Trouvelot. Vgl. Text, S. 358.

in dem 1779 zuerst von d'Arquier in Toulouse entdeckten Leiernebel Sterne vermutete, und Rosse sowohl wie Bond ihn in eine Unzahl winzigster Lichtpünktchen aufzulösen vermochten, glaubte man eine andere ferne Milchstraße vor sich zu haben. Aber das Spektroskop hat diesen Vergleich hinfällig gemacht, der überdies nicht zutreffend war, weil auch unsere Milchstraße ein von einer großen Anzahl von Sternen gebildetes Materienzentrum besitzt. Das lichtzerlegende Prisma hat dieses merkwürdige Gebilde bestimmt als Gasmasse erkennen lassen, aus der sich noch keine echten Sterne abgeschieden haben. Die im Fernrohr gesehenen Lichtpünktchen können also nur von gasförmigen Verdichtungen herrühren. Für einen gasförmigen Körper aber war es noch unwahrscheinlicher als für eine Ansammlung von Sternen, daß sie einen innen leeren Ring bilden könne, denn an Vorgänge wie die, welche z. B. die Tabakrauchringe erzeugen, konnte man für die Entstehung eines solchen Weltkörperringes doch wohl nicht glauben.

Das eigenartige Problem ist wiederum durch die Photographie einer einleuchtenden

Lösung nahegebracht worden. Schon in den besseren Fernrohren der Neuzeit hatte man nahezu im Zentrum der Ringellipse ein sehr feines Sternchen aufblitzen sehen; als nun Pater Denza, der inzwischen verstorbene Direktor der vatikanischen Sternwarte, und Scheiner in Potsdam eine Photographie des Nebels aufnahmen, bemerkten sie mit Staunen, daß dieses Lichtpünktchen auf der photographischen Platte zu einem ausgebreiteten Nebel angewachsen war, dessen Wirkung auf die photographische Platte sich sogar viel kräftiger herausstellte als die des Ringes selbst. Die dunkle Mittelpartie innerhalb des Ringes ist also von einer Materie teilweise angefüllt, die hauptsächlich ultraviolettes Licht aussendet. Nichts hindert uns daher an der Annahme, daß wir hier einen regulären planetarischen Nebel vor uns haben, dessen innere Partien, entsprechend physikalischen Gesetzen, dichter als die äußeren sind, während doch nur diese letzteren uns Licht zusenden, das auf menschliche Augen wirkt. Da wir, wie schon früher angedeutet wurde, bei den Nebeln überhaupt keinen Glühzustand, sondern ein Leuchten ohne Wärmewirkung vor uns haben, so kann man sich wohl denken, daß die dichten inneren Massen eines Gasballes ihren Atomen nicht mehr die genügende Freiheit lassen, um dieses Phosphoreszieren hervorzubringen, während für die äußeren Regionen die Bedingungen dazu noch vorhanden sind. Wir stellen in Tafel „Nebel" III, Fig. 5 (bei S. 340), der Trouvelotschen Zeichnung gegenüber die photographische Aufnahme des Leiernebels, die 1899 auf der Lick-Sternwarte erhalten wurde.

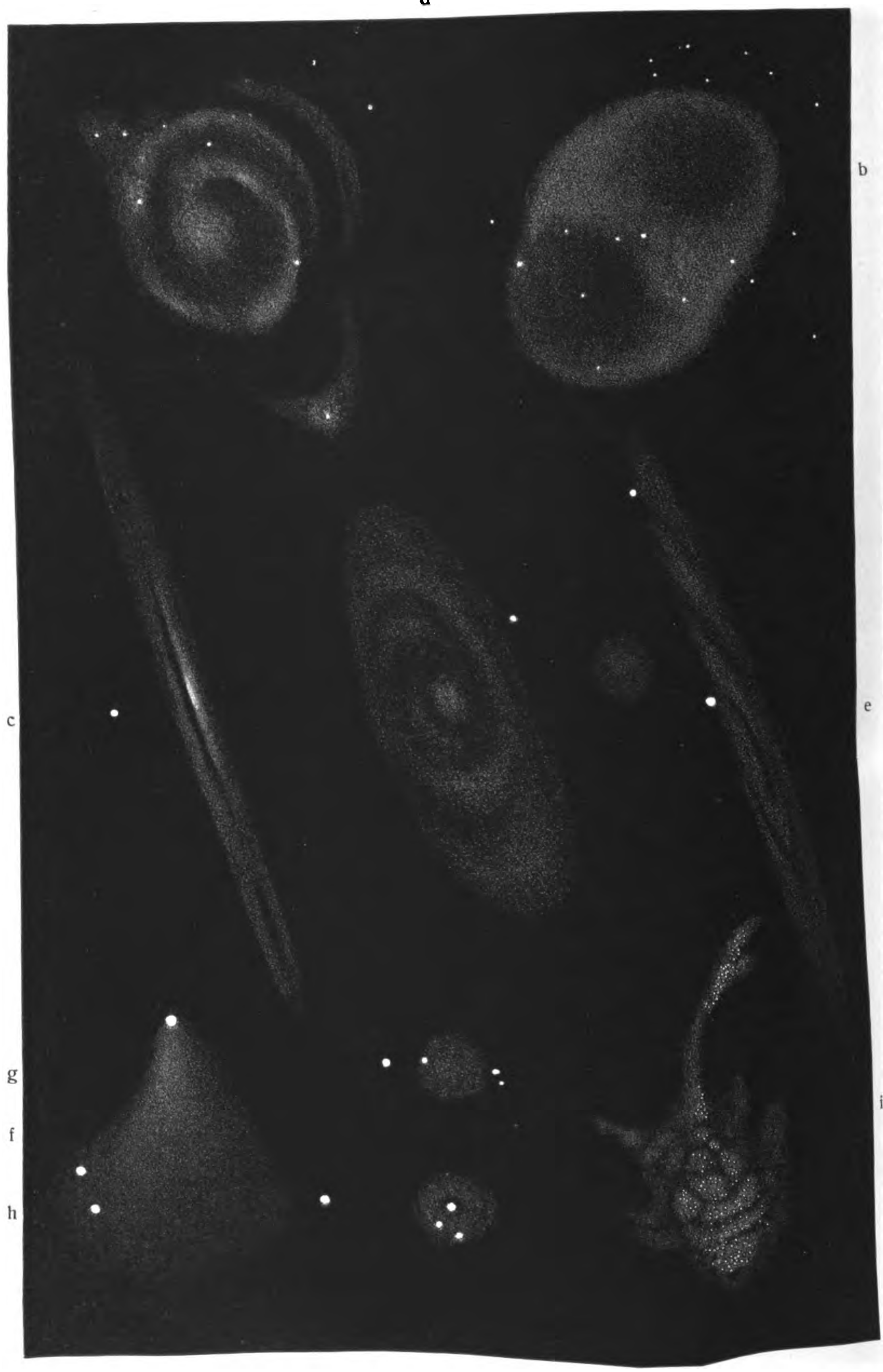


Sternhaufen im Wassermann.
Vgl. Text, S. 362.

Das Zerfallen des Ringes in eine große Anzahl von Lichtknoten bestätigt sich auch photographisch. Denza zählte auf seiner Aufnahme mit Hilfe des Mikroskopes deren mindestens 830. Wir haben in diesem Nebel also ein Übergangsgebilde zu den regelmäßig geformten, etwa kugelförmigen Sternhaufen vor uns, von denen wir einige bald näher kennen lernen werden.

Neue Gesichtspunkte auch in bezug auf die Entwickelungsgeschichte der Gestirne eröffnen die Untersuchungen Keelers auf der Lick-Sternwarte über dieses wunderbare Himmelsgebilde. Er erkannte, daß der Ring aus einer Anzahl ineinander verschlungener Ringe besteht, so daß die Stellen, wo mehrere derselben übereinander lagern, zum sichtbaren Ringe sich nur scheinbar zusammenfügen, während die innen befindliche Lichtmaterie von einseitig überstehenden Ringteilen gebildet wird. Wir haben danach in diesem Nebel ein System vor uns ganz ähnlich dem der Saturnringe oder der Planetoiden, nur daß hier die Lichtknoten sich noch nicht zu festen Weltkörpern verdichtet haben.

Ein höchst merkwürdiges Nebelgebilde, der sogenannte Dumbbell- oder Hantel-Nebel, verdankt vielleicht einer ähnlichen Ursache seine scheinbare Gestalt wie die Ringnebel. Es ist ein gleichfalls verhältnismäßig leicht sichtbares Objekt im Fuchs (A.R. 19^h 54^m, D+22,4°). Seine äußeren Umrisse haben eine schwach elliptische Gestalt, aber abweichend von den meisten ähnlichen Nebeln zeigt sich keine zentral zunehmende Verdichtung, und das Seltsamste daran sind die beiden großen fast kreisförmigen dunkleren Partien, die man als die Kugeln einer Hantel betrachten könnte. Besser ist das Ganze vielleicht einem Ei mit



NEBELFLECKE VERSCHIEDENER GESTALT.

Nebelflecke verschiedener Gestalt (Tafel II).

a. Spiralnebel in den Jagdhunden (G. C. 3572, 74), gezeichnet von H. C. Vogel.

b. Dumbbell-Nebel (N. G. C. 4532), gezeichnet von H. C. Vogel.

c. Linsenförmiger Nebel mit Kanal (N. G. C. 4565) nach R. Spitaler.

d. Spiralnebel (N. G. C. 2903 und 2905) nach R. Spitaler.

e. Linsenförmiger und zugleich spiralig gewundener Nebel mit rundem Begleiter (N. G. C. 4627 und 4631) nach R. Spitaler.

f. Kometenartiger Nebel (N. G. C. 2261) nach R. Spitaler.

g. Runder Nebel mit ihn außerhalb begleitenden Sternen (N. G. C. 2695) nach R. Spitaler.

h. Runder Nebel mit zentralem Stern (N. G. C. 1514) nach R. Spitaler.

i. Crab-Nebel im Stier (N. G. C. 1952) nach A. Secchi.

(a bis h sind am großen Wiener Refraktor gezeichnet.)

Nebelflecke verschiedener Gestalt (Tafel II).

a. Spiralnebel in den Jagdhunden (G. C. 3572, 74), gezeichnet von H. C. Vogel.

b. Dumbbell-Nebel (N. G. C. 4582), gezeichnet von H. C. Vogel.

c. Linsenförmiger Nebel mit Kanal (N. G. C. 4565) nach R. Spitaler.

d. Spiralnebel (N. G. C. 2903 und 2905) nach R. Spitaler.

e. Linsenförmiger und zugleich spiralig gewundener Nebel mit rundem Begleiter (N. G. C. 4627 und 4631) nach R. Spitaler.

f. Kometenartiger Nebel (N. G. C. 2261) nach R. Spitaler.

g. Runder Nebel mit ihn außerhalb begleitenden Sternen (N. G. C. 2695) nach R. Spitaler.

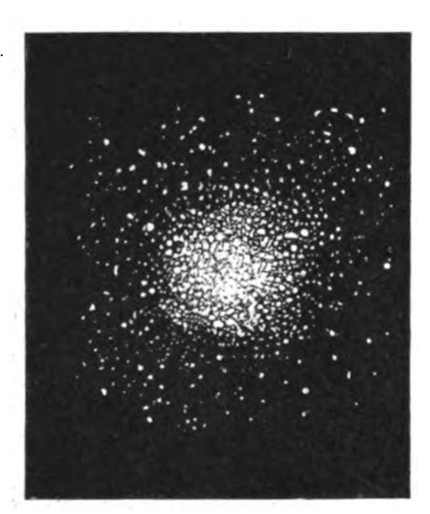
h. Runder Nebel mit zentralem Stern (N. G. C. 1514) nach R. Spitaler.

i. Crab-Nebel im Stier (N. G. C. 1952) nach A. Secchi.

(a bis h sind am großen Wiener Refraktor gezeichnet.)

doppeltem Dotter zu vergleichen. Vogel hat eine schöne Zeichnung dieses Weltkörpers mit Hilfe des großen Wiener Refraktors entworfen, die wir auf der beigehefteten Tafel in Figur b wiedergeben. Vielleicht bestehen auch diese dunkleren Partien nur aus Stoffen, die weniger Licht zu erzeugen vermögen, ohne ärmer an Materie zu sein.

Die Formen der Nebel, die wir nacheinander betrachteten, haben sich mehr und mehr der regelmäßigsten Form, der planetarischen, genähert. Manche Zwischenstufen müssen wir überspringen, und wir erwähnen nur noch vorübergehend eine gelegentlich vorkommende seltsame Form, die in auffälliger Weise an einen Kometen erinnert; an der Spitze des gebogenen Kometenschweifes vertritt dessen Kern ein Fixstern (siehe die Abbildung des Nebels N.G.C. 2261 auf der beigehefteten Tafel, Figur f). Es gibt verschiedene Variationen dieser Form, aber immer steht ein Stern an der Schweifspitze, so daß kein zufälliges Zusammentreffen vorliegt.

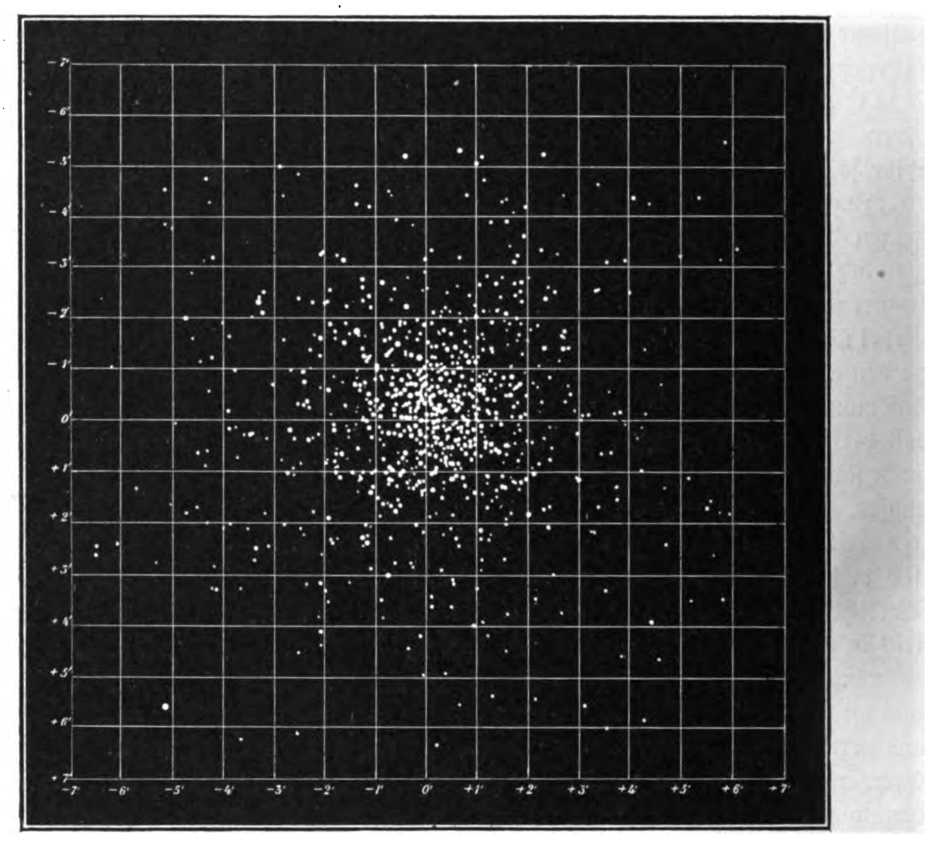


Sternhaufen in der Wage. Vgl. Text, S. 362.

Auch die rein planetarischen Nebel zeigen die verschiedensten Abstufungen. Sie sind ziemlich häufig, jedoch, wie wir schon sagten, müssen immer mehr von ihnen in die Klasse der spiraligen Nebel überführt werden. Ihre Anzahl im Vergleich zu den elliptischen Nebeln ist jedenfalls zu groß, als daß man voraussetzen könnte, man habe es auch hier mit verhältnismäßig flachen Körpern zu tun, die man sämtlich in der günstigsten Lage zu uns sehen müßte. Die planetarischen Nebel müssen zum größeren Teil kugelförmige Weltkörper sein, die sich in jeder Lage als Scheiben projizieren. Die Verdichtung dieser Scheiben nach ihrem Zentrum hin tritt in allen erdenklichen Graden auf. Einige, und zwar die selteneren, sind ganz gleichmäßig beleuchtet und oft so scharf begrenzt, daß man sie mit den Scheiben von Uranus oder Neptun durchaus verwechseln könnte; auch der Durchmesser dieser Nebel bleibt in den entsprechenden Grenzen. Bei anderen findet eine allmähliche Verdichtung statt, und die Umrisse werden dann meistens etwas diffuser. Wieder bei anderen Nebeln nimmt die Verdichtung schließlich einen sternartigen Charakter an, und endlich kommen solche Nebel vor, die einen wirklichen ausgebildeten Stern in ihrer Mitte haben. Bei einigen von diesen ist die Nebelhülle so schwach, daß sie kaum mehr wahrzunehmen ist; wir haben dann einen Nebelstern vor uns, wie wir solche schon früher erwähnten. Aber nicht immer findet sich nur ein Stern in ihrem Inneren. In einem Falle zeigt ein etwas elliptisch umgrenzter Nebel dieser Klasse zwei Sterne, die genau in den beiden Brennpunkten der Ellipse stehen. Ein anderer weist drei Sterne auf, die ein genau gleichseitiges Dreieck zu bilden scheinen. Bei wieder anderen ist eine große Anzahl von Sternen über die ganze Scheibe verteilt. Der extremste Fall von Verdichtung planetarischer Nebel sind endlich die Pickeringschen Sternnebel, von denen schon Seite 339 die Rede gewesen ist.

Die planetarischen Nebel mit mehreren Kernen führen uns unmittelbar zu den eigentlichen Sternhaufen hinüber. Manches derartige Gebilde, das man ehemals zu den planetarischen Nebeln zählen mußte, hat sich mit wachsender Vervollkommnung unserer

Sehwerkzeuge als ein ungemein dichtes Gewimmel von Sternen herausgestellt, und das vereinigte Licht derselben bewies im Spektroskop, daß es im Gegensatz zu den sternartigen Lichtknoten in manchen Nebeln, beispielsweise dem in der Leier, wirklich von echten Sternen herrührt, die keine erkennbaren Spuren von gasiger Materie mehr zwischen sich haben. Ein solcher dichter Sternhaufen von ganz runder Gestalt befindet sich im Wassermann (A. R. $21^h\ 28^m$, D—1,3°; siehe die Abbildung, S. 360); seinen prachtvollen Anblick verglich



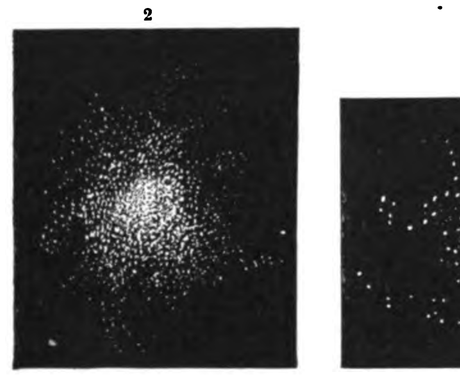
Sternhaufen im Herkules. Nach Scheiner. Vgl. Text, S. 363.

man mit dem eines Haufens Goldsand. Der Sternhaufen hat etwa anderthalb Minuten Durchmesser und besteht aus ganz winzigen Sternchen, die in der Mitte dichter stehen als am Rande, ohne sich jedoch plötzlich kernartig zu verdichten. Andere Sternhaufen zeigen dagegen eine sehr entschiedene Konzentration nach ihrer Mitte. Unter ihnen ist der schöne Haufen in der Wage (A. R. $15^h\ 14^m$, D + 2,5°), siehe die Abbildung, Seite 361, anzuführen. Ein prachtvolles Objekt dieser Art liegt auf der südlichen Halbkugel im Bilde des Centauren, das wir gleichfalls nach der schönen, in Arequipa erhaltenen Aufnahme in Fig. 1 der Tafel „Sternhaufen" bei Seite 324 wiedergeben.

Viel weniger gedrängt und die kugelförmige Gestalt mehr und mehr aufgebend, gruppieren sich mehrere tausend Sterne in dem entzückenden Sternhaufen im Herkules, der geradezu wie eine Handvoll in den Raum hinausgeworfener Diamanten aussieht

(A.R. $16^h\ 37^m$, D $+ 36{,}7^0$). Auf einer Aufnahme der Lick-Sternwarte sind 1016 hellere und 5482 schwache Sterne gezählt worden; doch zeigen nebelige Stellen an, daß sich hier noch eine Unzahl kleinster Sterne zusammendrängen. Scheiner hat von dem Sternhaufen am 9. September 1891 durch eine zweistündige Expositionszeit eine vortreffliche Aufnahme gemacht und die Platte alsdann einer genauen Untersuchung und Ausmessung unter dem Mikroskop unterworfen. Die Abbildung auf Seite 362 gibt das Resultat dieser Messungen, in ein Netzwerk eingetragen, wieder; es finden sich auf diesem Bilde 823 Sterne, die der 12.—14. Größenklasse angehören. Eine Verdichtung des Ganzen nach der Mitte zu ist noch immer unverkennbar, aber von dieser breiten die Sterne sich, schnell an Zahl abnehmend, weithin aus, und bei etwas genauerem Hinschauen erkennt man deutlich eine eigentümliche, strahlenförmige Gruppierung, so daß eine künstliche Auseinanderbreitung des Lichtes dieser Sterne auf dem von ihnen eingenommenen Raum ein Gebilde entstehen lassen würde, das einem Spiralnebel mit zahlreichen Zweigen nicht unähnlich wäre. Auf der dritten





Sternhaufen im Herkules: 1) nach Lord Rosse, 2) nach J. Herschel, 3) nach Secchi.

der obenstehenden Zeichnungen dieses nämlichen Sternhaufens sind die spiralig gewundenen Verzweigungen sehr deutlich zu erkennen. Diese Zeichnungen veranschaulichen wieder, wie sehr verschieden ein und dasselbe Objekt von verschiedenen Beobachtern aufgefaßt werden kann. Die hier deutlich hervortretende „Kettenbildung", das perlenschnurartige Aneinanderreihen der Sterne, zeigt sich noch vielfach bei anderen Sternhaufen und namentlich in der Milchstraße. Eine Zwischenstufe von den Spiralnebeln zu solchen Sternhaufen, auch gewundenen „Sternschnüren", bildet das auf der Tafel „Nebel" II, Fig. 4 (bei S. 340) abgebildete Objekt. Hier zerfällt die deutlich spiralige Nebelmasse in eine Menge von einzelnen Knoten. Auch die Tafel „Spiralnebel" (bei S. 356) enthält unter 6 ein solches Objekt.

Andere Sternhaufen lassen diese Verzweigungen noch viel deutlicher erkennen; z. B. das als Crab-(Krebs-)Nebel bekannte Objekt im Stier (A.R. $5^h\ 27^m$, D$+21{,}9^0$). In den Instrumenten vor dem großen Reflektor Herschels erschien dieser Haufen noch ganz als Nebel ohne jede Spur von Sternen. Schon Herschel vermutete seine Auflösbarkeit, und Rosse erkannte die einzelnen Sterne. Die Verzweigungen, die ihn als Krebs oder Insekt erscheinen lassen (siehe „Nebelflecke" Tafel II, Figur i, bei S. 361), sah Rosse zuerst deutlich. Das ganze Aussehen des Gebildes ist dem eines unregelmäßigen oder sehr komplizierten

spiraligen Nebels ungemein ähnlich, während es doch nur ein dichtes Gewirr von Sternen ist. Halten wir die sternartigen Verdichtungen der echten Nebel mit diesen nebelartigen Sternhaufen zusammen, von denen noch eine große Anzahl verwandte Formen zeigen, so muß unwillkürlich der Gedanke auftauchen, die Sternhaufen seien aus den Nebeln durch Bildung von Lichtknoten und ihre allmähliche Verdichtung zu Sternen entstanden.

Von den bisher angeführten Sternhaufen, die ganz oder teilweise an der Grenze der Auflösbarkeit bleiben, führen alle erdenklichen Abstufungen bis zu den ganz lose zusammenhängenden Sternansammlungen, wie wir eine solche bereits in der Gruppe der Plejaden kennen gelernt haben, und fast sämtliche Formen, die wir an den echten Nebeln auffanden, wiederholen sich dabei in den Gruppierungen der Sternhaufen. Es würde zu weit führen, wollten wir alle diese Gestalten hier im einzelnen noch einmal vorführen. Als eine der seltsamsten Wiederholungen sei nur ein ausgedehnter Sternhaufe in den Zwillingen in A.R. $6^h\ 49^m$, D+18,1° erwähnt; er ist, wie die nebenstehende Abbildung zeigt, deutlich fächerförmig gebaut und hat an seiner Spitze einige sehr helle Sterne. Wir erkennen in ihm eine genaue Kopie des früher erwähnten kometenartigen Nebels, nur daß hier alles auf das deutlichste in Sterne aufgelöst ist. Ebenso kommen elliptische und nahezu ringförmige Sternhaufen vor.


Sternhaufen in den Zwillingen.

Besonders erwähnenswert sind noch die den Doppelnebeln entsprechenden Doppelsternhaufen. Das schönste dieser Objekte, wenngleich schon recht aufgelöst, ist der Sternhaufen im Perseus, von dem wir auf Tafel „Sternhaufen" (bei S. 324) eine vorzügliche Aufnahme mit seiner weiteren Umgebung bringen, die am 15. September 1904 bei einer Belichtung von 5 Stunden 55 Minuten auf der Yerkes-Sternwarte erhalten wurde. Es ist eins der entzückendsten Himmelsobjekte für schwächere Instrumente. Um den vollen Genuß seiner Schönheit zu haben, muß man den Sternhaufen ganz überblicken können, was in größeren Instrumenten mit ihrem engen Gesichtsfelde nicht möglich ist. Die Lage der Hauptgruppe ist A.R. $2^h\ 10^m$, D+56,6°. Man kann sie mit dem bloßen Auge als eine Ausbuchtung der Milchstraße erkennen, an deren Rande sie liegt. Die Ausdehnung der ganzen Doppelgruppe überdeckt etwa einen Flächengrad. Der hellste Stern darin ist 6,5. Größe; 176 Sterne bis zur 13. Größe hat Vogel in dem größeren Haufen allein ausgemessen, aber es sind noch viele kleinere Sterne darin enthalten, die nur gelegentlich aufleuchten. Einen außerordentlichen Reiz verleiht diesem Haufen aus Sterndiamanten die Verstreuung einzelner farbiger Sterne in ihm. Ein prachtvoll rubinfarbener Doppelstern leuchtet aus der kleineren Gruppe hervor.

Überblicken wir noch einmal die hauptsächlichsten Formen der Nebelflecke und Sternhaufen, so müssen wir zu der Ansicht gelangen, daß in ihnen zwei verschiedene Entwickelungswege ausgeprägt sind. Gemeinsam scheinen zwar alle aus ursprünglich chaotischer Gestaltung zu regelmäßigeren, nach innen verdichteten Formen zu streben. Es bilden sich kugelförmige Körper, die durch irgend einen äußeren, noch unbekannten Anstoß zu Spiralen ausgezogen werden. Während nun eine große Anzahl von Nebelballen in ungestörter Entwickelung sich mehr und mehr verdichtet, bis alle ihre Materie, im Mittelpunkte sich zusammendrängend, einen Stern, d. h. eine einzige Sonne gebildet hat, zerfallen andere

Nebel, die zuerst gleichfalls das allgemeine Bestreben zeigten, sich nach einem Punkte hin zu verdichten, in eine Unzahl gesonderter Verdichtungszentren. Daher entsteht aus dem ursprünglich einheitlichen Weltkörper eine ganze Welt getrennter Himmelswesen, die für einen Beschauer im Inneren derselben ein sternbesätes Firmament erzeugen müßte, so wie wir es über unseren Häuptern sehen. Man hatte einstmals geglaubt, daß diese Sternhaufen wirkliche Milchstraßensysteme außerhalb des unserigen seien. Wir werden aber im Folgenden erkennen, daß wahrscheinlich doch alle an unserem Himmel wahrzunehmenden Objekte innerhalb dieses großen Sternreiches liegen, dem auch unsere Sonne angehört. Die Sternhaufen sind kleinere Wiederholungen des großen Systems, wie die Monde als sekundäre Planeten aufzufassen sind.

Verzeichnis von Sternhaufen und Nebelflecken für 1900.

Bezeichnung	Rektaszension	Deklination	Kurze Beschreibung
Andromedanebel	0^h $37{,}2^m$	$+40^\circ 44'$	Groß, sehr hell, elliptisch. 2° lang, $\frac{1}{2}^\circ$ breit.
Sternhaufen in der Cassiopeja	1 26,6	+60 16	Reich, ziemlich hell. [Sterne auflösbar.
Sternhaufen im Triangel	1 28,2	+30 8	Runder heller Nebel von 40′ Durchmesser. In
Sternhaufen h Persei	2 12,0	+56 42	Sehr groß, sehr reich. Sterne 7. bis 14. Größe.
Sternhaufen χ Persei	2 15,4	+56 41	Reich. Sterne 7. bis 14. Größe.
Plejaden (η Tauri)	3 41,5	+23 47	Große Sternhaufen, zerstreut, mit hellen Sternen.
Hyaden (γ Tauri)	4 14,0	+15 23	Großer Sternhaufen, zerstreut, mit hellen Sternen.
Crabnebel im Stier	5 28,5	+21 57	Elliptisch, $5\frac{1}{2}'$ lang, $3\frac{1}{2}'$ breit, mit Ausläufern.
Sternhaufen im Fuhrmann	5 29,7	+34 4	Ziemlich hell, groß, Sterne 9. bis 11. Größe.
Großer Orionnebel	5 30,4	— 5 27	Sehr hell, sehr groß, mit den Trapezsternen.
Nebel im Orion	5 31,1	— 1 16	Sehr großer Nebel um ε Orionis.
Sternhaufen im Fuhrmann	5 45,7	+32 31	Sehr hell, reich (ca. 500 Sterne).
Sternhaufen in den Zwillingen	6 2,6	+24 20	Groß, ziemlich dicht, Sterne 9. bis 16. Größe.
Sternhaufen in der Argo	7 37,2	—14 33	Groß, reich, mit elliptischem Nebel.
Sternhaufen im Krebs (ε Cancri)	8 34,5	+20 19	Groß, zerstreut. Präsepe = Krippe.
Sternhaufen im Krebs	8 45,9	+12 12	Sehr groß (20—39′), 200 Sterne 10. bis 15. Größe.
Nebel im Großen Bären	9 47,3	+69 32	Elliptisch, 15′ lang, 6′ breit.
Nebel im Großen Bären	11 9,9	+55 33	Planetarischer Nebel, etwa 4′ Durchmesser.
Nebel in der Jungfrau	12 26,9	+14 58	Ziemlich groß, elliptisch, in der Mitte verdichtet.
Nebel in den Jagdhunden	12 46,2	+41 39	Planetarischer Nebel, so hell wie Stern 8. Größe.
Spiralnebel in den Jagdhunden	13 25,7 13 25,9	+47 43 +47 47	Lord Rosses berühmter Spiralnebel. Zwei auffällige Lichtknoten.
Sternhaufen in den Jagdhunden	13 37,5	+28 53	Kugelförmiger Sternhaufen von wenigstens 1000 Sternen 11. Größe und darunter.
Sternhaufen in der Wage	15 13,5	+ 2 27	Sehr dichter kugelförmiger Sternhaufen, mit Sternen 11. bis 15. Größe.
Sternhaufen im Skorpion	16 11,1	—22 44	Großer heller kugelförm. Sternhaufen; sehr reich.
Sternhaufen im Herkules	16 38,2	+36 39	Sehr heller und reicher kugelförmiger Sternhaufen, nach der Mitte stark verdichtet.
Sternhaufen im Schlangenträger	16 42,0 16 51,8	— 1 45 — 3 56	Reiche kugelförmige Sternhaufen, mit Sternen 10. bis 15. Größe. [dichteter Mitte.
Sternhaufen im Herkules	17 14,1	+43 15	Großer kugelförmiger Sternhaufen mit stark ver-
Nebel im Schützen	17 56,3	—23 2	Große unregelmäßige dreispaltige Nebelgruppe.
Nebel im Schützen	17 57,7	—24 21	Zerstreuter Sternhaufen, mit heller, sehr großer, äußerst unregelmäßiger Nebelgruppe.
Nebel im Drachen	17 58,6	+66 38	Etwas elliptischer, planetarischer Nebel, hell mit
Omeganebel im Schützen	18 14,9	—16 13	Hell, sehr groß und unregelmäßig. [Kern, blau.
Ringnebel in der Leyer	18 49,8	+32 54	Sehr hell, groß, elliptisch. [Achse 9′, kleine 5′.
Dumbbellnebel im Fuchs	19 55,3	+22 26	Besitzt die Gestalt einer Hantel, elliptisch, große
Nebel im Wassermann	20 58,7	—11 45	Sehr heller, kleiner, elliptischer planetar. Nebel.
Sternhaufen in der Cassiopeja	23 52,0	+56 10	Großer, reicher, stark verdichteter Sternhaufen, mit Sternen 10. bis 18. Größe.

17. Die Milchstraße.

Auf den denkenden Beschauer werden wenige Erscheinungen des Himmels einen tieferen Eindruck hervorrufen können als der Anblick des leuchtenden Gürtels, von dem die Gesamtheit der das Firmament bevölkernden Welten umschlossen zu sein scheint. Für unser bloßes Auge ist die Milchstraße trotz aller ihrer Verzweigungen und Lichtabstufungen ein großes Ganze, ein in sich zusammengeschlossenes, einheitliches Weltwesen, das den ganzen Himmel umfaßt und in sich aufnimmt, mit ihm auch unsere Sonne und uns selbst. Es ist ein tieferes Studium dieses bei weitem größten Wundergebildes am gestirnten Himmel gar nicht nötig, um in ihm jene Ringmauer zu ahnen, die eine größte Gemeinschaft von Welten umschließt.

In ihrer vollen Pracht zeigt sich die Milchstraße in den äquatorialen Breiten unseres Planeten, in denen während einer täglichen Umwälzung der Erde alle Teile des Himmelsgewölbes einmal über uns hinwegziehen, also im Lauf eines Jahres nach und nach der ganze gestirnte Himmel nächtlich sichtbar wird, während in unseren Breiten ein großer Teil desselben ewig durch den Körper der Erde verdeckt bleibt. Erst dort stellt sich der geschlossene Ring dem Beobachter vollständig vor Augen.

Die Astronomen des Altertums, die sämtlich unter südlicheren Breiten lebten, haben dem gewaltigen Gürtel schon früh rege Aufmerksamkeit gewidmet, und es ist auch hier wieder seltsam, wie neben phantastischen Meinungen (einige wollten in ihm zurückgelassenes Licht der Sonne erblicken, die früher diese Bahn gezogen sei, andere meinten, hier seien die beiden Halbkugeln des Himmels zusammengeschmiedet, und durch die Fugen leuchte die ewige Helle des Götterraumes jenseits der Welt) die Ansichten vorgeahnt wurden, die erst die Anwendung des Fernrohrs zur Gewißheit erheben konnte: Demokrit und Manilius hatten die Überzeugung ausgesprochen, die „Galaxia“ entstehe durch die Zusammendrängung sehr vieler Sterne auf engem Raume.

Eine ziemlich eingehende Schilderung des Verlaufs der Milchstraße gibt bereits Ptolemäus in seinem „Almagest“. Wenn sie auch nicht genau genug ist, um durch eine Vergleichung mit dem gegenwärtigen Zustande die Frage entscheiden zu können, ob Veränderungen in der Lage und der Helligkeit des Lichtgürtels vorgehen, so läßt jene alte Beschreibung doch erkennen, daß seine großen Züge unverändert so geblieben sind, wie wir sie sehen, daß wir es also mit einem Gebilde zu tun haben, das weit jenseits des Sonnenbereiches liegen muß, weil uns sonst in der Milchstraße die naturnotwendigen Bewegungen der Materie inzwischen bemerkbar geworden sein müßten.

Um aber für die Zukunft Veränderungen in kleinerem Umfange, die an sich nicht unwahrscheinlich sind, feststellen zu können, ist es von größter Wichtigkeit, die gegenwärtige Form des leuchtenden Gürtels, der auch in unserer heutigen Erkenntnis noch genug des Rätselhaften in sich schließt, so sicher wie möglich festzuhalten. Aber die Aufgabe stellt sich als unerwartet schwierig heraus, denn es zeigt sich bald, daß das Fernrohr nicht imstande ist, dem Beobachter eine sonst so bewährte Hilfe zu leisten: das Objekt ist zu groß, und selbst die geringsten Vergrößerungen lösen den Schein in eine Unzahl von getrennten Lichtpünktchen aller Größen auf. Es bleibt keine andere Möglichkeit, als ohne alle Hilfsmittel die verglimmenden Einzelheiten zeichnerisch festzuhalten, eine äußerst schwere und langwierige Arbeit, wenn man ein Resultat erzielen will, das möglichst von subjektiven Auffassungen unabhängig ist und auf Einheitlichkeit Anspruch macht. Der Eindruck einzelner Teile des Gürtels wird im Vergleich

Anschluß rechts unten.

Cassiopeja

Algol

Capella

Orion

Atair

Wega

Schwan

Cassiopeja

Anschluß links oben.

DIE NÖRDLICHE MILCHSTRASSE.

Nach *C. Easton.*

zu anderen fast an jedem Abend ein anderer sein, da die Luftzustände und die Lage zum Horizonte wechseln. Es gehört eine außerordentliche Begabung und Geschicklichkeit dazu, um all dieser Schwierigkeiten Herr zu werden.

Solche zeichnerischen Studien sind namentlich von dem mit einem außergewöhnlich scharfen Auge begabten Eduard Heis seinerzeit in Münster (Westfalen), dann von Hermann J. Klein in Köln, von Böddiker, endlich von Easton in Dordrecht (Holland) ausgeführt worden. Alle diese Zeichnungen umfassen natürlich höchstens den in unseren Breiten sichtbaren Teil der Milchstraße, nicht viel mehr als einen halben Bogen des mächtigen Ringes, denn obgleich man mehr als diesen im Laufe der Jahreszeiten von unserem Standpunkt aus sehen kann, bleiben doch die südlicheren Partien immer so nahe am Horizont, daß ihre einwandfreie Aufnahme nicht mehr möglich ist.

Die Eastonsche Karte der Milchstraße geben wir auf der beigehefteten Tafel wieder. Der Autor fügt seinem Werk außer diesem Gesamtbilde noch drei in etwas größerem Maßstab ausgeführte Spezialkarten gewisser Regionen bei. Diese vier Blätter sind das Resultat eines etwa fünfjährigen Studiums; die Arbeit wurde zwischen 1882 und 1887 unternommen. Easton unterscheidet 164 verschiedene Zonen, Flecke, Lichtbrücken ꝛc., von denen er einen Katalog aufstellt; nur die hervorragendsten Objekte haben wir auf unserer Abbildung besonders bezeichnet.

Um sich ein Bild davon zu machen, wie verschieden die ineinander verschwimmenden Einzelheiten der Milchstraße aufgefaßt worden sind, vergleiche man die Eastonsche Zeichnung einerseits mit der auf unserer Karte des nördlichen gestirnten Himmels nach Heis und Argelander gegebenen (bei S. 314) und anderseits mit der auf der Watersschen Karte der Nebelflecke (nördliche Hälfte) nach Böddiker eingezeichneten Milchstraße (bei S. 374). Ein Gewirr von Einzelheiten tritt uns in diesen Darstellungen vor Augen, in das eine besondere Ordnung nicht zu bringen ist. Um wenigstens die hauptsächlichsten Partien anzuführen, verfolgen wir den Zug der Milchstraße nach der Eastonschen Zeichnung und beginnen mit dem südlichen Zweige, den wir in unseren Winternächten über den Sternbildern des Großen Hundes und des Orion hinziehen sehen. In der Milchstraße selbst liegt hier das wenig auffällige Sternbild des Einhorns. Ein nicht außergewöhnlich scharfes und geschultes Auge sieht an dieser Stelle den Gürtel recht schmal und wenig leuchtend; den ganz schwachen Nebelschein, den Easton über das ganze Sternbild des Orion sich ausdehnend zeichnet, wird ein gewöhnliches Auge wohl niemals erkennen. Hier hat also die Milchstraße eine sehr unbestimmte Begrenzung. In ihrem weiteren Verlauf aber, zwischen Zwillingen und Stier hindurch bis zum Bilde des Fuhrmanns, kräftigt sich ihr Glanz. Der Laie beobachtet dort wohl kaum mehr als ein einheitlich leuchtendes Band, dessen Ränder sich diffus in den Himmelsraum verlieren, wenngleich der Abfall der Helligkeit nach diesem hin schon merklicher wird als in den südlicheren Teilen. In der Eastonschen Zeichnung sieht man auch hier schon den Lichtschimmer sich an vielen Stellen zu großen verwaschenen Ballen zusammenziehen, während andere Stellen, meist in der Nähe größerer Sterne, merklich dunkler als die Umgebung erscheinen. Beispielsweise befindet sich ein solcher dunkler Fleck unterhalb von β Tauri. Unter der schönen Capella dagegen, dem ersten Stern im Fuhrmann, den wir bereits als den sonnenähnlichsten aller spektroskopisch untersuchten Sterne kennen lernten, verdichtet sich der wunderbare Lichtstrom wieder.

Mannigfaltig durchsetzt von helleren Brücken und dunkleren Kanälen, von Einbuchtungen und Vorsprüngen, zieht sich dann die Milchstraße durch den Perseus zur Cassiopeja



hin, im ersteren Sternbilde den bekannten Doppelsternhaufen einschließend. Das strahlende, mitten in der Milchstraße gelegene W der Cassiopeja ist durch die Zweiteilung der Eastonschen Karte gerade durchschnitten. Der Glanz des Gürtels nimmt nun stetig zu, bis er im Sternbilde des Schwans seine größte Stärke auf der nördlichen Halbkugel erreicht; hier treten mehrere Details so kräftig hervor, daß sie selbst dem ungeübten Auge kaum entgehen können. Dem Stern α dieses Bildes (Deneb), der sich an der Spitze der einem Papierdrachen ähnlichen Figur befindet, die von den fünf hauptsächlichsten Sternen des Schwans gebildet wird, und deren Längsachse gerade im Zuge der Milchstraße liegt, geht eine besonders helle Partie nach der Seite der Cassiopeja hin voraus. Von dort etwas nordöstlich (auf unserer Karte nach oben links) zeigt sich dagegen ein ganz auffällig dunkler Fleck, rings von Milchstraßenschimmer umflossen, den Easton den Nördlichen Kohlensack genannt hat, im Vergleich zu zwei weit auffälligeren Objekten in der Milchstraße der Südhalbkugel. Dem Stern γ Cygni, inmitten des Papierdrachengestells, folgt eine langgestreckte, kometenschweifartig sich ausbreitende Lichtwolke, die sich bis zu dem Stern β am äußersten Schwanzende des Drachens hin erstreckt und wohl das auffälligste Gebilde in der nördlichen Milchstraße ist. Überhaupt ist diese Partie des Schwans bei weitem die schönste des ganzen Gürtels, soweit wir ihn in unseren Breiten übersehen können.

Südlich der Linie α bis γ im Schwan beginnt nun ein breiter, dunkler Kanal die Mitte der Milchstraße zu durchziehen, die sich von hier ab gabelt und dabei beträchtlich an Breite zunimmt. Auf einem Wege, der reichlich den vierten Teil des ganzen Himmelsgewölbes einnimmt, entfernen sich dann die beiden Zweige immer mehr voneinander; der südlichere Teil bleibt dabei der sehr viel deutlichere und nimmt namentlich im Sternbilde des Schützen eine große Helligkeit an, obgleich dieses Sternbild sich schon sehr nahe am Horizonte aufhält. Die Eastonsche Darstellung reicht übrigens nicht mehr bis zum Schützen, sondern nur bis zu dem kleinen Sternbilde Sobieskis Schild, das sich weniger durch auffällige Sterne als durch Sternhaufen, die sich hier zusammendrängen, und durch den großen Omeganebel auszeichnet. Der nördliche Zweig der Milchstraße erfährt im Bilde der Schlange eine Unterbrechung oder wird dort doch äußerst schwach und kräftigt sich erst wieder im Skorpion, wo die Milchstraße ihre größte Breite erreicht.

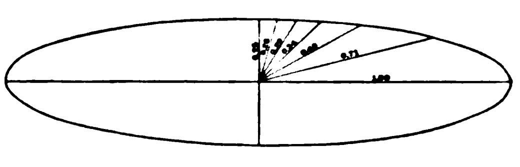
Nun auf jene Teile der Südhalbkugel übertretend, die für unsere Breiten niemals sichtbar werden, verengert sich die Milchstraße wieder und läuft etwa bei dem Sternbilde des Südlichen Kreuzes in ein einheitliches Band zusammen, das übrigens gleich dahinter in dem merkwürdig auffälligen sogenannten Großen Kohlensack eine Unterbrechung erfährt. Der Gürtel nimmt von hier ab an Breite und Glanz beständig ab und scheint sich im Sternbilde des Schiffes sogar auf eine kurze Strecke fast gänzlich zu verlieren. Etwa 20° weiter nach Norden hin treffen wir im Einhorn wieder mit dem Teile des leuchtenden Ringes zusammen, bei dem wir seine Beschreibung begonnen hatten.

Zwei Dinge sind bei dieser Übersicht sogleich sehr auffallend: das allmähliche Anwachsen der Helligkeit und das gleichzeitige Breiterwerden der Zone. Zeichnen wir den ganzen Verlauf auf einen Globus, so zeigt sich, daß der schmalsten und mattesten Stelle die breiteste und hellste gerade diametral gegenüberliegt. In letzterer erkennt man am meisten Einzelheiten, und namentlich tritt hier die Gabelung deutlich hervor. Diese Tatsachen erwecken unwillkürlich die Vermutung, wir befänden uns der helleren Region näher als der entgegengesetzten, unsere Lage sei also exzentrisch in



dem ungeheuren Ringe. Wir würden somit in der Richtung des Schwans oder des Adlers dem uns umschließenden Sternenkranz näher sein als gegen das Einhorn oder das Schiff Argo hin. Ferner sehen wir sofort auf dem Globus, daß die Milchstraße das Firmament nicht in einem sogenannten größten Kreise umgibt. Wenn man nämlich von irgend einem ihrer Punkte zu dem diametral gegenüberliegenden eine gerade Linie zieht, so geht sie niemals durch den Mittelpunkt des Globus, sondern immer etwas südlich darunter weg. Stellen wir den Globus so, daß sich das Sternbild des Haupthaares der Berenice im Zenit befindet, so bleibt fast die ganze Milchstraße unter dem Horizont; wir müssen uns also nördlich von der Hauptebene befinden, die man durch den weltumfassenden Ring legen kann. Im Haupthaar der Berenice, bei $12^h\ 45^m$ A. R. und 28^0 nördlicher Deklination, liegt nach Kobold der Nordpol der Milchstraße, d. h. der Punkt, welcher, soweit dies bei der Unregelmäßigkeit des Gebildes überhaupt möglich ist, gleichweit von allen seinen Teilen entfernt ist.

Im übrigen sieht man auf den ersten Blick, daß die Milchstraße keineswegs ein zusammenhängendes Ganze, etwa von regelmäßiger Ringgestalt, sein kann; die Verzweigungen, Ausbuchtungen, Ausläufer, dunkleren und helleren Flecke jedweder Gestalt, die Kanäle und Lichtbrücken weisen uns auf einen sehr komplizierten Bau hin. Wollen wir es versuchen, darin irgend eine Ordnung zu entdecken, so müssen wir uns zunächst über die Art der Projektion klar werden, unter der wir diese Einzelheiten sehen. Die Grundform eines Ringes, welche die Materienansammlung der Milchstraße für unseren Standpunkt in rohen Umrissen angenommen hat, kann auch ein flacher, linsenförmiger Körper zeigen, wenn sich das Auge ungefähr in seiner Mitte befindet. Wenden wir dann den Blick gegen die Schärfe der Linse, so müssen wir dort am meisten Materie durchdringen und am meisten Helligkeit von ihr empfangen, wenn sie leuchtet. Je mehr wir aber den Blick von dieser Hauptebene abwenden, desto weniger Materie begegnet unsere Gesichtslinie in der Linse, wie obenstehende schematische Zeichnung veranschaulichen mag. Setzen wir z. B. voraus, die obenstehende Ellipse sei gleichmäßig mit leuchtenden Punkten, Sternen, ausgefüllt, und man könnte deren in der Richtung der großen Achse 100 zählen, so würden in einer Richtung senkrecht darauf nur noch 25 gezählt werden. Wenn die leuchtenden Punkte sich zu einer allgemeinen Helligkeit für unser Auge vereinigen, so muß diese Helligkeit also in der einen Richtung viermal größer sein als in der anderen. Ist die Abnahme der Helligkeit von der großen Achse nach der kleinen auch eine stetige, so geht sie doch in der Nähe der ersteren viel schneller vor sich als in der letzteren. Wir haben einen Quadranten der Ellipse in sechs Teile, je 15 Grad umfassend, geteilt. Die Rechnung zeigt, daß in 15 Grad Entfernung von der großen Achse nur noch 71 statt 100 Sterne gezählt werden würden; die Abnahme der allgemeinen Helligkeit beträgt also mehr als ein Viertel der maximalen. In der Umgebung der kleinen Achse dagegen stellt sich das Verhältnis für den gleichen Winkel nur wie 25 : 26.



Ellipse mit Strahlen.

Selbst unter der Annahme völlig gleichmäßiger Verteilung kann also für unser Auge an einer gewissen Stelle des scheinbaren Ringes eine ziemlich deutliche Abgrenzung seiner helleren Partien hervortreten. Aber auch ein flacher, ringförmiger Körper, etwa von der Gestalt des Ringnebels in der Leier, würde eine ähnliche Lichtverteilung zeigen.

Endlich könnte die Milchstraße eine mehr oder weniger zusammenhängende, sehr flache Spirale sein, deren Zweige sich für uns größtenteils hintereinander projizieren und deshalb nicht mehr getrennt sichtbar werden. Immer unter der Voraussetzung, daß sie nur die allgemeinsten Züge des Gebildes darstellen sollen, während man z. B. statt des linsenförmigen Körpers auch eine getrennt bestehende Anhäufung von kleineren Materieballen setzen kann, die sich, von ferne gesehen, als Linse darstellen würde, würde man andere Formen nicht wohl auffinden können, die mit den Tatsachen des Augenscheins in Einklang zu bringen sind.

Dieser Umstand, daß die Milchstraße nur in eine von drei Grundformen zu bringen ist, denen wir bereits am gestirnten Himmel bei den Nebelflecken und Sternhaufen begegneten, leitet uns zu dem Gedanken hin, sie möge in der Tat ein solches Gebilde sein, in dessen mittleren Regionen unsere Sonne sich mit uns befindet: ein ungeheurer Sternhaufen, der alle anderen in sich schließt. Daß sich die Milchstraße bereits mit sehr geringen optischen Mitteln in eine unerschöpfliche Schar von Sternen auflöst, ist uns schon bekannt. Trachten wir nun zu ermitteln, welche besonderen Eigenschaften ihm zukommen. Wir nehmen das Fernrohr zur Hand. Aber wie sollen wir diese Millionen und aber Millionen Sterne bemeistern, Zusammenhang und Gesetzmäßigkeit unter ihnen entdecken? Man betrachte Abbildung 3 der Tafel bei Seite 324, die Wiedergabe einer von M. Wolf in Heidelberg bei 6¾stündiger Belichtung am 16. und 18. Juli 1901 erhaltene Aufnahme einer Milchstraßengegend im Schwan, neben die in Abbildung 4 ein Kärtchen der dort mit bloßem Auge sichtbaren Sterne gestellt ist, um die Verzweiflung der Astronomen gegenüber dieser erdrückenden Fülle zu verstehen. Von einer Zählung oder Ordnung nach Größenklassen oder gar der Bestimmung gegenseitiger Abstände kann keine Rede mehr sein, und doch kann man schließlich nur auf eine solche Art etwas über den wahren Bau des gewaltigen Weltenkomplexes ermitteln. Die Photographie kann hier vorläufig nur wenig helfen. Man hat versucht, mit recht kleinen, sich durch ihre schwache Vergrößerung möglichst wenig vom menschlichen Auge unterscheidenden Apparaten Aufnahmen der Milchstraße zu machen. Aber auch die mit größeren Apparaten aufgenommenen Milchstraßenphotogramme zeigen eine verwirrende Fülle von interessantesten Einzelheiten, die bedeutungsvolle Hinweise auf die Entwickelung und gewissermaßen das Leben in diesem unermeßlichen Schwarme von Sonnen werfen. Wir wollen einige der charakteristischen Stellen hier in den besten von ihnen erhaltenen Photogrammen vorführen. Zunächst erinnern wir an die schöne Aufnahme des sogenannten „Nordamerikanebels", die wir schon in unserem Kapitel über Himmelsphotographie, Seite 51, reproduzierten (siehe auch Tafel „Nebel" IV, Fig. 8 bei S. 340). Wir sehen an ihm, wie sich die Sternmaterie an einzelnen Stellen der Milchstraße stark verdichtet, und man erkennt auch, wie rings um diese Verdichtung herum eine auffällige Sternarmut hervortritt, als ob der Verdichtungsprozeß von diesen Umgebungen die nötige Materie aufgesogen hätte. Die große Lücke, die in dem betreffenden Vergleich dem Golf von Mexiko entspricht, erinnert an das „Löwenmaul" im Orionnebel.

Eine andere Verdichtung der Milchstraße, in der sich viele Verzweigungen und Lücken befinden, veranschaulicht die auf beigehefteter Tafel, Abbildung 1 gegebene Aufnahme einer Gegend im Schützen und Skorpion, die bei achtstündiger Belichtung in Arequipa erhalten wurde.

Ein Gewirr von Einzelheiten zeigt die prachtvolle, in Abbildung 3 derselben Tafel wiedergegebene Aufnahme, die eine Gegend von Ophiuchus (Mitte $16^h\ 20^m$ A.R. und -23^0 D)





1. Milchstraße im Schützen und Skorpion.
Photographische Aufnahme der Boyden-Station bei Arequipa.



2. Der in die Milchstraße eindringende Nebel bei Π 2 Cygni.
Photographische Aufnahme von M. Wolf, Heidelberg.

Verdichtungen in der Milchstraße.



3. Die Milchstraße bei ϱ Ophiuchi. Photographische Aufnahme der Yerkes-Sternwarte auf Mount Wilson.



4. Die Milchstraße mit dem „Kohlensack“. Phot. Aufnahme der Yerkes-Sternwarte auf Mount Wilson.

darstellt und am 5. April 1905 bei 4½stündiger Belichtung auf der Station der Yerkes-Sternwarte auf Mount Wilson erhalten wurde. Zu der wildzerzausten Nebelmasse, die in einer deutlich sternarmen Gegend liegt, führen vielverzweigte, fast sternleere Kanäle, während es ringsum von Sternen wimmelt. Ebenfalls im Ophiuchus befindet sich die in Abbildung 4 wiedergegebene Anhäufung von Sternen (Yerkes-Aufnahme vom 31. Juli 1905 mit 4½stündiger Belichtung), in deren Mitte sich ein völlig sternleeres Loch befindet, als ob hier eine Flintenkugel durch eine Staubwolke geschlagen wäre. In Abbildung 2 unserer Tafel, der Aufnahme einer Gegend vom Schwan, die von Wolf bei vierstündiger Belichtung am 10. Juli 1904 erhalten wurde, sieht man ganz deutlich, wie ein großes Nebelgebilde in die Sternschwärme eingedrungen ist und den sternleeren Kanal hinter sich zurückgelassen hat.

Um eine allgemeine Gesetzlichkeit in der Anordnung der Sterne in der Milchstraße zu finden, mußte man sich angesichts der nicht mehr zu bewältigenden Fülle auf das Prinzip der Stichproben beschränken, indem man nur ein kleines Gebiet auszählte. Man nennt diese vom älteren Herschel zuerst angewendete Methode die der Sterneichungen. Herschel richtete sein Teleskop auf eine bestimmte Stelle des Himmels, deren Lage zum Hauptzuge der Milchstraße er gleichzeitig mit der Anzahl der Sterne notierte, die er im Gesichtsfelde zählen konnte. Auf die verschiedene Helligkeit der Sterne wurde dabei keine Rücksicht genommen, sondern nur darauf geachtet, daß stets dieselbe Objektivöffnung bei gleich gutem Luftzustande angewendet wurde; es war dadurch der sogenannten raumdurchdringenden Kraft des Fernrohres eine bestimmte Grenze gesetzt. Unter der Voraussetzung nämlich, daß die wahre Größe und Helligkeit der Sterne in allen Teilen des Weltraumes im Durchschnitt die gleiche ist, wird ein Fernrohr von bestimmter optischer Kraft diese Durchschnittsgröße nur bis in eine bestimmte Entfernung hinein noch erkennen lassen; ihm ist also ein bestimmter Umkreis vorgeschrieben, auf den seine Forschungen beschränkt sind. Innerhalb dieses zwar nicht mehr in menschlichem Maße zu ermessenden Weltraumgebietes, das eines seiner berühmtesten Teleskope umfaßte, zählte Herschel an 3400 Stellen die Sternfülle je eines Gesichtsfeldes aus, das den vierten Teil der scheinbaren Mondfläche umfaßte. Sein Sohn John Herschel vervollständigte diese mühevolle Arbeit durch 2299 Eichungen auf der Südhalbkugel. In neuerer Zeit wurden ähnliche Arbeiten wiederholt, namentlich auch von Th. Epstein in Frankfurt a. M. Die einzelnen Eichungen wurden zu Mittelwerten für die gleichen Lagen der Gesichtsfelder in bezug auf den allgemeinen Zug der Milchstraße vereinigt und in verschiedener Weise geordnet.

Wie zu erwarten war, zeigte sich hierbei eine starke Abnahme der Sternhäufigkeit mit wachsender Entfernung von dem Parallelkreis, um den sich der Milchstraßenschimmer gruppiert. Auf demselben war z. B. bei den Herschelschen Eichungen die mittlere Sternhäufigkeit 122; 15 Grad nördlich von ihm zählte dagegen Herschel nur noch 30 Sterne. In diesem Abstande befindet man sich, vielleicht mit Ausnahme der breitesten Stellen der Milchstraße, ganz außerhalb ihres mit dem bloßen Auge wahrnehmbaren Lichtschimmers. Entfernt man sich noch mehr von ihrer Hauptebene, so macht man die Wahrnehmung, daß die Sternhäufigkeit weiter und weiter in unverkennbarer Gesetzmäßigkeit abnimmt, bis sie genau in jenen beiden Punkten, die nördlich und südlich am weitesten vom Hauptzuge der Milchstraße entfernt sind, also an den Polen der Milchstraße, für den ganzen Himmel zu einem absoluten Minimum wird. So trifft man z. B. bei 30 Grad Abstand von der Milchstraße auf der nördlichen Halbkugel nicht viel mehr als einhalbmal soviel Sterne an, wie bei 15 Grad

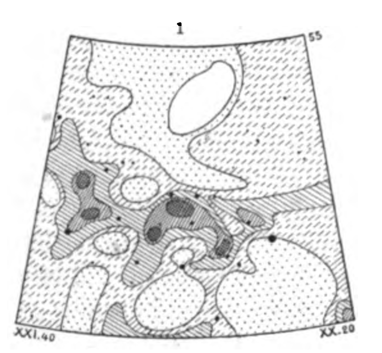
Abstand gezählt wurden, nämlich 18 statt 30; bei 45 Grad zeigen sich nur noch 10 Sterne, bei 60 Grad 6 bis 7. Die Umgebung der Milchstraßenpole selbst ist fast ganz sternleer. Hierbei handelt es sich, wie schon erwähnt, nur um Mittelzahlen; in einzelnen Fällen erwies sich die Sternschicht in der Milchstraße für das Herschelsche Riesenteleskop sowohl wie selbst für die heute besten Instrumente der Welt als völlig undurchdringlich, da immer noch Nebelschleier hinter den mit Mühe aufgelösten Sternen auftauchten.

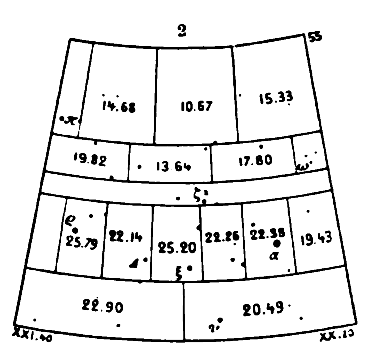
Durch die nachgewiesene Gesetzmäßigkeit der Verteilung aller Sterne am Himmel, die sich abhängig von der Lage der Milchstraße zeigt, ist die Zugehörigkeit aller dieser Sterne zu dem großen Milchstraßensternhaufen ohne Zweifel festgestellt. Wir sind also Angehörige dieses Riesensternhaufens und nicht nur zufällig in die unmittelbare Nähe seiner Hauptebene geraten.

Schwieriger ist dagegen die Frage zu lösen, ob es Sterne derselben Art und Größe, wie die das Firmament außerhalb der Milchstraße bevölkernden, sind, die den eigentlichen Milchstraßenschein hervorbringen. Wir deuteten schon an, daß an einzelnen Stellen Herschel ausgedehnte Nebelschleier hinter den kleinsten Sternen wahrnahm, die er allerdings immer noch für auflösbar hielt. Mit je längeren Expositionszeiten aber die Himmelsphotographie arbeitet, desto häufiger deckt die empfindliche Platte derartige Nebelgebilde innerhalb der Milchstraße auf, die sich oft sehr weit über sie hinaus erstrecken, so daß z. B. die großen photographisch entdeckten Nebel in den Plejaden und im Orion wahrscheinlich mit dem Milchstraßenzug in Verbindung stehen. Das Spektroskop ist zwar gegenüber diesen ungemein schwachen Lichtschimmern unvermögend, ihre physische Beschaffenheit zu ergründen, aber alles spricht dafür, daß man es hier nicht mit dichtgedrängten Sternhaufen, sondern mit wirklichen Gasnebeln zu tun hat. Es ist also die Frage aufzuwerfen, ob die Milchstraße tatsächlich ein auflösbarer Sternhaufen sei, oder ob ihr Schimmer nicht vielleicht doch zum merklichen Teile durch jene Nebelmassen erzeugt werde.

Jedenfalls wird der Schimmer der Milchstraße nicht hauptsächlich durch die größeren, sondern vielmehr durch die kleineren und kleinsten Sterne von der 11. Größe abwärts erzeugt. Die katalogisierten Sterne bis zur 9,5. Größe zeigen zwar ebenfalls eine unverkennbare Zunahme gegen die Milchstraße hin, wie ein Blick auf die Karten der Argelanderschen Durchmusterung sofort zeigt, aber das Gesetz der Zunahme ist doch ein wesentlich anderes als bei den alle Sterne berücksichtigenden Herschelschen Eichungen. Bei den letzteren verhielt sich die größte zur geringsten Sternhäufigkeit im Mittel für die betreffenden äußersten Gebiete etwa wie 14 : 1; für die Sterne von der 1. bis zur 9. Größe ist dies Verhältnis dagegen nur 2,5 : 1. Die Zunahme nach der Milchstraße hin ist also viel geringer für die helleren, d. h. uns durchschnittlich näherstehenden, den zentralen Teil des ganzen Gebildes einnehmenden Sterne als für die fernen kleineren an den Grenzen des Haufens. Da dieses Verhältnis über die 9.—10. Größenklasse hinaus sich ziemlich plötzlich ändert, so darf man die Vermutung daran knüpfen, daß der innere Haufe von Sonnen, dem wir angehören, eine gewisse Abgrenzung gegen den äußeren Ring (wenn wir das komplizierte Gebilde zunächst einfach als Ring bezeichnen dürfen) hat. Es befindet sich also nach dieser Vermutung zwischen dem inneren, sich der Kugelform mehr nähernden Haufen und dem flacheren umgebenden Ring eine sternärmere Region. So gestaltete Himmelskörper gibt es mehrfach, und man könnte als Beispiel den Ringnebel in der Leier nennen, wenn man den zentralen, durch die Photographie entdeckten Teil berücksichtigt (vgl. Tafel „Nebel" III, Fig. 5, bei S. 340).

Innerhalb der Milchstraße selbst scheint allerdings die Verteilung auch der helleren Sterne mit der Helligkeit der ersteren übereinstimmend zu wachsen, wie eine mühsame Zusammenstellung von Plaßmann (in Warendorf bei Münster) dartut. Plaßmann hat bei Zugrundelegung der Argelanderschen Durchmusterung des nördlichen Himmels die relative Lichtstärke aller Sterne dieses Werkes, mit Ausnahme der mit bloßem Auge sichtbaren, also von der 6,5. bis zur 9.—10. Größe, für gewisse rechtwinklig umgrenzte Felder berechnet und diese Lichtstärken mit denen verglichen, die sich aus den Zeichnungen der Milchstraße ergeben. So entstand z. B. die untenstehende Zusammenstellung. Auf der linken Seite ist eine Stelle der Milchstraße nach Easton so wiedergegeben, daß die Gebiete gleicher Lichtstärke deutlich durch verschiedene Schraffierungen herausgehoben sind; rechts daneben sind die Plaßmannschen Relativzahlen in die betreffenden Rechtecke eingetragen, welche die gesamte Lichtmenge repräsentieren, die, von diesen Flächen ausgehend, in unserem Auge vereinigt wird. Die Übereinstimmung ist so gut, wie es die angewendete Methode nur erlaubt.





1) Linien gleicher Lichtstärke der Milchstraße im Schwan, 2) Plaßmanns Relativzahlen der Sternhäufigkeit in derselben Gegend des Schwans.

Alle diese Wahrnehmungen machen es ziemlich sicher, daß der Schimmer der Milchstraße fast ausschließlich durch kleine Sterne hervorgerufen wird, während nur an wenigen Stellen und in geringstem Maße wirkliche Nebelschleier sich daran beteiligen. In welcher Weise diese unzähligen Lichtpunkte den an- und abschwellenden, zusammenhängenden Lichtschimmer des Gürtels hervorbringen müssen, wurde schon in unseren einleitenden Betrachtungen über das Sehen überhaupt erörtert.

Sehr auffällig ist die bedeutende Vermehrung der Sternhäufigkeit, welche die Milchstraßenphotographien gegenüber den mit den vorzüglichsten Instrumenten ausgeführten Eichungen in derselben Gegend aufweisen. Es läßt sich dies nur dadurch erklären, daß in der Milchstraße eine große Anzahl von Sternen existiert, die hauptsächlich ultraviolettes Licht ausstrahlen und deshalb direkt im Fernrohre meist überhaupt nicht wahrgenommen werden können. Man darf annehmen, daß etwa die Hälfte der Sterne, die bei einer 13stündigen Aufnahme in den betreffenden Gegenden erscheinen, sich an dem allgemeinen Lichtschimmer, den das wunderbare Phänomen in unseren menschlichen Augen hervorbringt, gar nicht beteiligen, wonach also Wesen mit Augen, die für die blauen Strahlen empfindlicher sind als die unsrigen, die Milchstraße noch einmal so hell sehen würden wie wir. Da nun, wie wir bereits wissen, die Art des von den Sternen ausgehenden Lichtes uns etwas über ihre physische Beschaffenheit aussagt und namentlich die hauptsächlich violettes Licht ausstrahlenden Sterne in die erste Spektralklasse der sogenannten Siriussterne, d. h. der jüngsten Entwickelungsstufe gehören, so beweisen die Resultate der photographischen Aufnahmen gegenüber denen des direkten Sehens schon allein, daß der größere Teil der die

Milchstraße zusammensetzenden Sterne eine gemeinsame Entstehungsgeschichte, einen gleichzeitigen Ursprung hat.

Eine sehr bemerkenswerte Tatsache, die den Aufbau aller oder doch der überwiegenden Zahl der einzeln oder in Gruppen zusammenstehenden Sterne zu einem gemeinsamen Ganzen außer Zweifel stellt, zeigt sich in der schon früher angedeuteten Verteilung einerseits der Sternhaufen und anderseits der Nebelflecke in bezug auf den Milchstraßengürtel. Vor einiger Zeit hat Sydney Waters hierüber eine interessante Untersuchung angestellt, deren Ergebnis die beigehefteten Karten sind. Darauf sind alle Nebelflecke und Sternhaufen des neuen Generalkataloges von Dreyer eingetragen; die schwarzen Punkte bedeuten hier nicht Sterne, sondern unauflösbare Nebel; auflösbare Nebel sind durch rote Punkte, Sternhaufen durch rote Kreuze bezeichnet. Wir sehen, wie auffallend sich die letzteren fast ausschließlich auf die Milchstraße beschränken; ebenso auffallend selten sind die schwarzen Punkte der nicht auflösbaren Nebel in der Milchstraße und sogar in der weiteren Umgebung, während sie sich am übrigen Himmel ziemlich gleichmäßig verteilen. Höchstens könnte man, wie schon früher angedeutet (S. 341), einen die Milchstraße kreuzenden Zug von Nebelnestern verfolgen. Die Seltenheit der Nebel im Zuge des schimmernden Gürtels ist jedenfalls nur eine scheinbare, da der letztere die Sichtbarkeit der schwächeren Objekte jener Art stört. Nach Scheiner befinden sich sogar die echten Gasnebel alle in der Nähe der Milchstraße. Eine ähnliche Erklärung läßt sich aber für die Verteilung der leuchtenden Sternhaufen durchaus nicht finden; ihr Zusammendrängen in der Milchstraße muß in organischem Zusammenhange mit ihr stehen. Wir haben sie als Teile der Milchstraße anzusehen, die etwa den Lichtknoten entsprechen würden, die wir gelegentlich zu Hunderten in den an der Grenze der Auflösbarkeit stehenden Nebelflecken wahrnehmen.

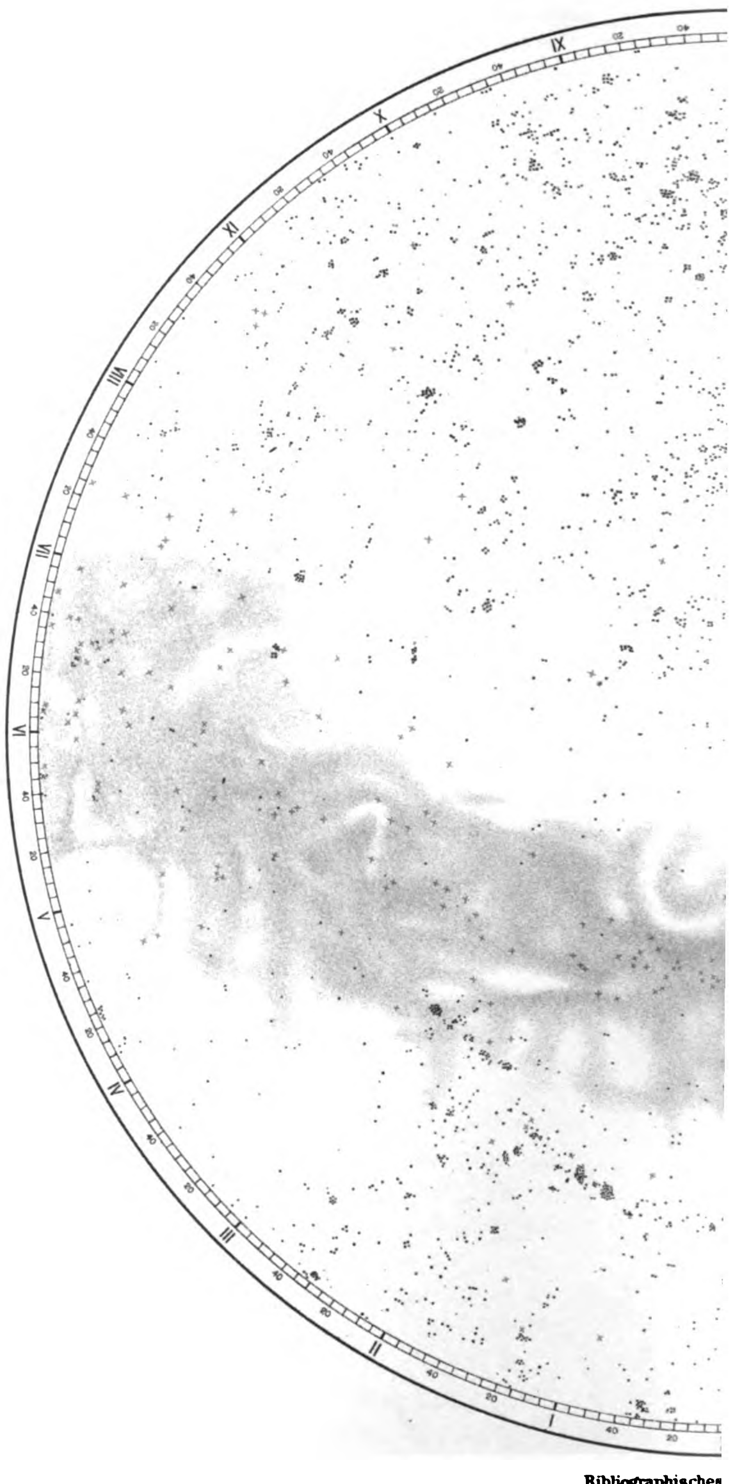
Fassen wir alle bisher über die Milchstraße gemachten Wahrnehmungen zusammen, so stellt sich ihr Bild immer deutlicher als das eines Sternhaufens dar, der sich aus einem ursprünglich spiraligen Nebel verdichtet und nach und nach zu dem komplizierten Gebilde zergliedert hat, als das wir es gegenwärtig vor uns sehen. Obgleich die Untersuchungen noch bei weitem nicht genügend vorgeschritten sind, um bestimmte Umrisse dieses Milchstraßensternhaufens angeben zu können, darf man doch mit ziemlicher Bestimmtheit annehmen, daß seine Grundform nicht sehr verschieden von jener spiraligen Struktur sein wird, wie sie die Zeichnung des Nebels in den Jagdhunden von Vogel (vgl. Fig. a der Tafel „Nebelflecke verschiedener Art" bei S. 361) aufweist. Stellt man sich in dieser noch mehr Lichtknoten vor, denkt sich ferner die zwischenliegende Nebelmaterie weg und löst endlich das Ganze in Sterne auf, so kann der Anblick dieses Gebildes in seinen wesentlichen Zügen kaum ein anderer sein, als ihn die Milchstraße von einem außerhalb desselben gelegenen Standpunkte gewähren würde. Sogar der begleitende kleinere Nebel, den wir so häufig bei dieser Art von Himmelskörpern vorfanden, fehlt dem Milchstraßensternhaufen nicht: wir erkennen ihn in den Magalhãesschen Wolken.

Wir haben schon wiederholt auf die großen Schwierigkeiten hingewiesen, die das Studium der offenbar vorhandenen großen Organisationen des Fixsternsystems bietet, das Millionen von Sonnen umfaßt. Da wir bei dieser Fülle uns nur mit Hilfe der Wahrscheinlichkeitsrechnung ein ungefähres Bild der Hauptzüge dieser größten Weltordnung zu machen vermögen, müssen möglichst alle sich darbietenden Merkmale verwendet werden, damit das eine durch das andere kontrolliert werden kann. So haben wir die scheinbare Verteilung



VERTEILUNG DER NEBELFLECKE UND STERNI

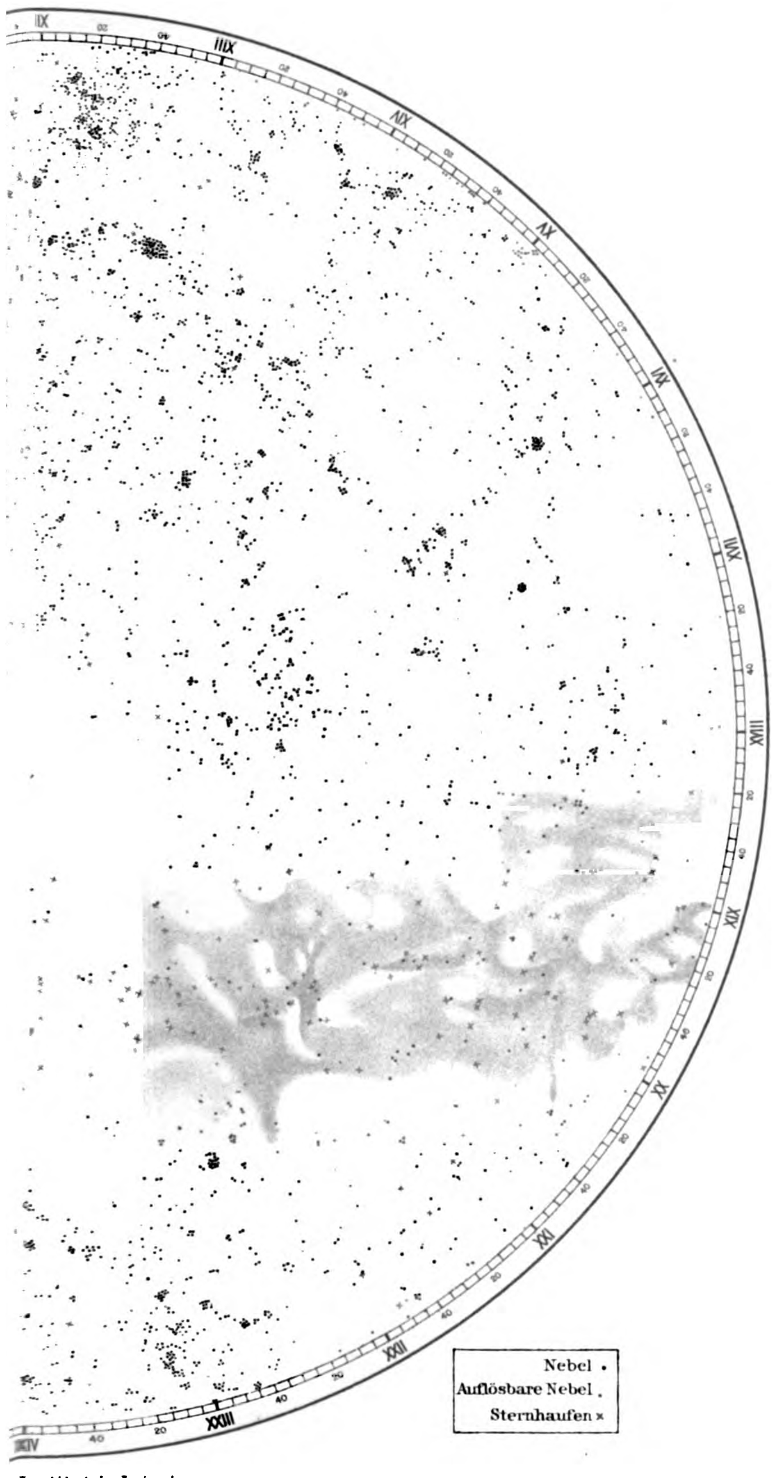
Nach dem Dreyerschen Katalog eingetragen von Sydney Waters.



Bibliographisches

…HAUFEN ÜBER DIE NÖRDLICHE HIMMELSHÄLFTE.

… Milchstraße ist nach der Boddikerschen Zeichnung wiedergegeben.

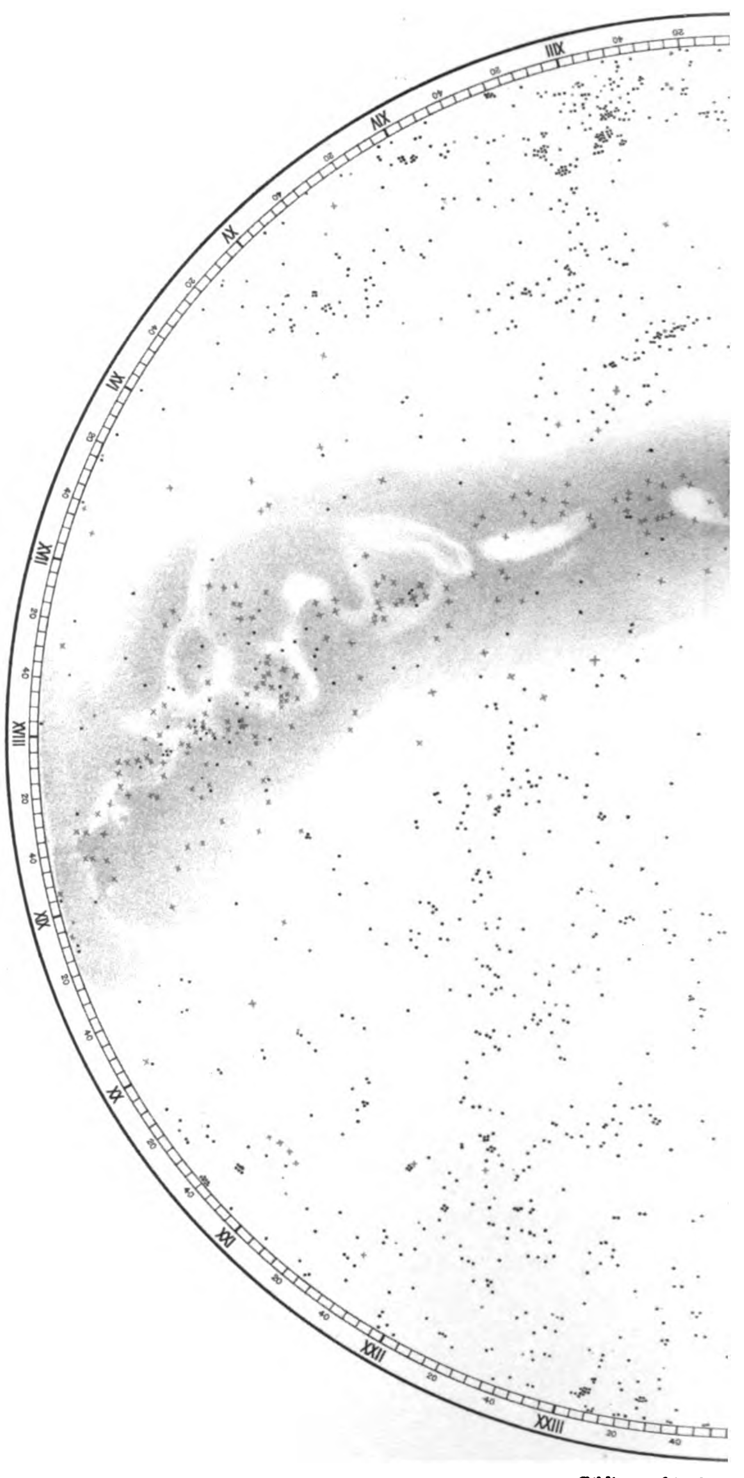


… Institut in Leipzig.



VERTEILUNG DER NEBELFLECKE UND STERN

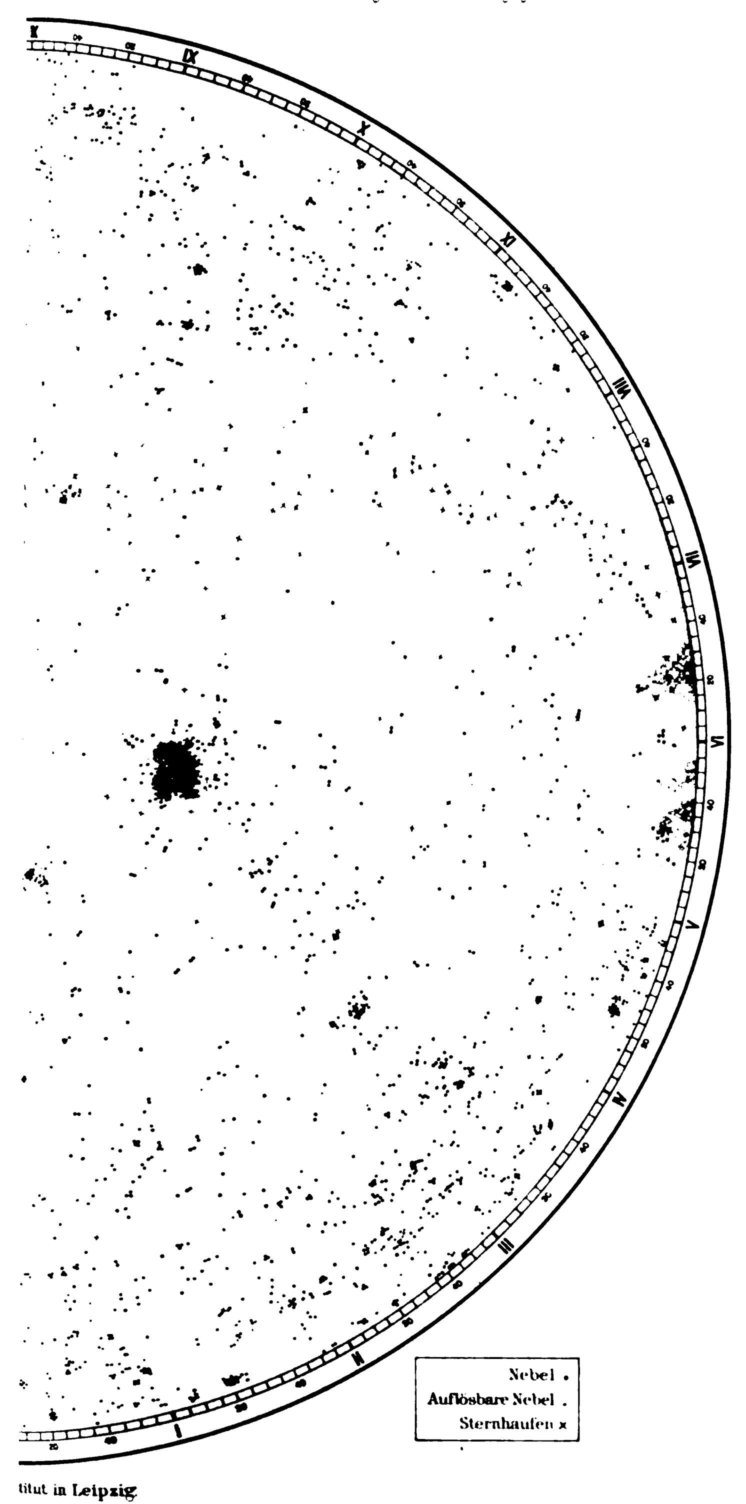
Nach dem Dreyerschen Katalog eingetragen von Sydney Waters



Bibliographisches

…AUFEN ÜBER DIE SÜDLICHE HIMMELSHÄLFTE.

…ie Milchstraße ist nach der »Uranometria Argentina« wiedergegeben



…titut in Leipzig

der Sterne benutzt, um unter der Voraussetzung gleicher wahrer Abstände die wahre Verteilung und damit die Form des ganzen Gebildes zu finden. Da wir aber auch die wahren Abstände einer Anzahl von Sternen kennen, so geben diese bis zu einem gewissen Grade ein Mittel zur Prüfung unserer Voraussetzung der durchschnittlich gleichen Abstände. Ferner werden wir noch näher erfahren, daß alle Sterne Bewegungen im Raume ausführen. Nehmen wir auch wieder für diese an, daß sie überall in dem ganzen Sternenkomplex der Milchstraße durchschnittlich die gleichen sind, so gibt die scheinbar verschiedene Größe der „jährlichen Eigenbewegung" ein neues Argument für die Verteilung der Sterne, denn diese durchschnittlich gleiche Geschwindigkeit muß uns ja um so kleiner erscheinen, aus je größerer Entfernung wir sie sehen. Stimmen die so erhaltenen Resultate nicht mit den durch die vorhin erwähnten Methoden gefundenen, zeigen sich systematisch geordnete Unterschiede, so müssen wir abermals unsere gemachten Voraussetzungen revidieren. Hierzu kommen schließlich noch die spektroskopischen Untersuchungen, die uns etwas über die Zusammengehörigkeit von Sterngruppen in bezug auf ihre physische Beschaffenheit aussagen können, die ebenfalls in Übereinstimmung mit den übrigen allgemeinen Resultaten zu bringen sind. Kurz, es ist eine große Summe von Fakten der verschiedensten Art in scharfsinniger Weise zu verbinden, um auch nur die Grundzüge dieses alles umfassenden Weltenbaues mit einiger Sicherheit zu erkennen.

Wir können den neueren Untersuchungen hierüber nicht mehr folgen, um so weniger, als eine ganze Reihe von Erfahrungen dabei zu verwenden ist, die erst im zweiten Hauptteil dieses Werkes behandelt werden. Um hier aber doch ein Gesamtbild unseres Milchstraßengebäudes zu geben, stellen wir die Resultate dieser neueren Arbeiten zusammen. An ihnen beteiligten sich namentlich Schiaparelli in Mailand, Kapteyn in Leiden, Pickering in Cambridge (Nordamerika), Struve und Stratonoff in St. Petersburg (Pulkowa), Ristenpart in Berlin, Seeliger in München, der außerordentlich klärende theoretische Untersuchungen über den Gegenstand anstellte, und Kobold in Kiel, der neben eigenen wertvollen Untersuchungen jüngst (1906) ein zusammenstellendes Werk über den „Bau des Fixsternsystems" herausgab, dem wir hier vielfach folgten.

Wir haben alle Sterne, Sternhaufen und Nebel, die wir überhaupt am Himmel erkennen, als Teile des großen Milchstraßenuniversums anzusehen. Die helleren Sterne nehmen mit unserer Sonne den mittleren Teil der spiralig angeordneten Wolken von Sternen ein, in die sich die Milchstraße auflöst. Man kann in diesem mittleren Teile etwa vierhundert hellere Sterne unterscheiden, die wieder eine besondere, von dem übrigen Zuge durch eine sternärmere Gegend getrennte Gruppe bilden. Ihnen gehört unsere Sonne an, und unter ihnen gibt es auch die meisten sogenannten Sonnensterne. In dieser engeren Vereinigung zeigen sechs Sterne eine so große Übereinstimmung ihrer Bewegungen mit der der Sonne, daß wir diese sieben Sonnen als ein fest in sich zusammenhängendes, kleinstes Sternsystem zu betrachten haben. Die sechs Schwestersonnen zur unsrigen sind Capella im Fuhrmann, Beteigeuze im Orion, Wega in der Leier, Altair im Adler, alles Sterne 1. Größe, dann ϑ im Großen Bären, ein Stern 3. Größe, und endlich der berühmte Doppelstern 61 im Schwan, 5. und 6. Größe. Nach Kobold, der diese enge Verwandtschaft entdeckte, könnten zu diesen Sternen, die mit der Sonne dieselbe Straße durch das Weltall ziehen, noch Antares im Skorpion, Aldebaran im Stier und der Stern 4. Größe η in der Cassiopeja gehören. Von allen diesen Sternen liegen gute Entfernungsbestimmungen vor. Danach



sind von ihnen 61 im Schwan und Altair uns am nächsten, 600,000 und 900,000 Sonnenweiten zu 149½ Millionen Kilometern. Die entferntesten, Antares und Beteigeuze, stehen 8—9 Millionen Sonnenweiten von uns ab. Trotz dieser ungeheueren Räume, die unsere nächsten Schwestersonnen voneinander trennen, waltet über allen eine gemeinsam wirkende Kraft, die sie zusammenhält und den gleichen Weg führt, ähnlich wie ein System von Trabanten in der Bahn ihres Planeten einherzieht; dagegen findet man im großen Sternsystem keinen einzelnen vorherrschenden Zentralkörper vor, der dieselbe Rolle spielte wie die Sonne in ihrem System oder die Planeten für ihre Monde. Die Geschwindigkeit der Sonne in ihrer Weltraumbahn wurde zu etwa 29 km in der Sekunde gefunden. Wir kommen hierauf noch in unserem Kapitel über die Eigenbewegungen zurück.

Die außerhalb jenes Sternhaufens im Inneren der Milchstraßenspirale stehenden Sterne gehören meist dem Siriustypus an, sie sind heißer, jünger als die Sterne unserer inneren Milchstraßeninsel, die wir mit unserer Sonne bewohnen.

Man kann außer jener Sonnengruppe noch andere Gruppen von Sternen mit unter sich gleicher Bewegung unterscheiden. Die einzelnen Wolken der Milchstraße haben wohl ähnliche, aber doch nicht völlig übereinstimmende Bewegungen, die nur im großen und ganzen in der Hauptebene des Milchstraßenkörpers stattfinden.

Die Sterne 9. Größe, die etwa die Grenze des inneren und äußeren Milchstraßenzuges bezeichnen mögen, sind nach Seeliger etwa 130mal weiter von uns entfernt als Sirius, der 560,000 Sonnenweiten von uns absteht. Die letzten in der Richtung des Milchstraßenpols noch erkennbaren Sterne sind etwa 500 Siriusweiten, die im Milchstraßenzuge selbst 1100 Siriusweiten entfernt. Dorthin haben wir die äußerste Grenze des von uns noch wahrnehmbaren Weltgebäudes zu verlegen. Von daher würde das Licht der schwächsten Sterne der Milchstraße etwa 10,000 Jahre brauchen, um zu uns zu gelangen.

Früher, als man mit Herschel noch der Überzeugung war, daß die außerhalb des Milchstraßenzuges stehenden Sternhaufen selbst ganze Milchstraßensysteme seien, daß wir also noch eine höhere Weltordnung zu übersehen vermöchten, in der unser ganzes Fixsternsystem wieder nur ein Individuum unter vielen sei, hatte man die letzten Grenzen des Weltalls noch viel weiter hinausgeschoben, so daß man von Millionen von Jahren sprach, die die letzten von uns noch wahrnehmbaren Lichtstrahlen gebraucht hätten, um von ihrer Ursprungsstätte den Weg bis zu uns zu durchlaufen. Wenngleich auch solche Dimensionen wegen ihrer Ungeheuerlichkeit allein nicht unwahrscheinlicher wurden, so hat man doch aus anderen Gründen diese Ansicht aufgeben müssen, ja, Struve, der Untersuchungen über die an sich notwendige Abschwächung des Lichtes durch eine „Himmelsluft“, ein noch so dünnes, den Weltenraum erfüllendes Mittel, anstellte, glaubte, daß über eine Grenze von 12,000 Lichtjahren Entfernung überhaupt kein Lichtstrahl mehr zu uns gelangen könne. Seeligers Untersuchungen zeigten zwar, daß der „Extinktionsfaktor“ Struves zu groß sei, während die Grenzen des Milchstraßensystems selbst nach ihm, wie wir oben schon erfuhren, nur 10,000 Lichtjahre von uns entfernt sind.

Es scheint hiernach, daß unser größtes Weltsystem von einem sternleeren Raume umgeben sei, ähnlich wie weite Räume auch die Planeten und die Sonnen voneinander trennen. Jenseits dieses Zwischenraumes können natürlich noch andere Milchstraßen liegen, die unserer Kenntnis nicht mehr zugänglich sind. Ein gemeinsames Band aber sehen wir immer deutlicher von dieser kleinen Erde, die wir beherrschen, und die wir bis auf den



heutigen Tag gewohnt sind schlechtweg die Welt zu nennen, sich hinausschlingen um alle Sterne des unfaßlich weiten Firmamentes. Und wie unendlich hat sich unser Blick bis dort hinaus während der noch nicht vollen drei Jahrhunderte erweitert, seitdem das lichtsammelnde Glas die Schranken durchbrach, die bis dahin der Menschheit das Geheimnis des Weltalls verschlossen hatten! Die Zeit liegt nicht in grauer Ferne, wo der denkende Mensch die Grenzen des Geschaffenen nicht weit hinter dem irdischen Luftkreise suchte, und mancher unserer Zeitgenossen erhebt auch heute noch seine Gedanken niemals über diese engen Grenzen. Die Erde ist ihm immer noch, wie einstmals der ganzen Menschheit, als der „anthropozentrische" Standpunkt die Herrschaft hatte, der hauptsächlichste Weltkörper. Kopernikus setzte statt der Erde die Sonne in den Mittelpunkt des Universums, aber den meisten blieb es von nun an unbegreiflich, daß unser Wohnsitz mit all seinen Geschöpfen durch den Raum wandeln sollte wie die anderen Planeten, die seit Jahrtausenden als still glänzende Lichtpünktchen das Firmament umzogen. Wie klein wurde in unserer Erkenntnis nun die Erde, und wie über alles Verständnis groß der zentrale Feuerherd, um den wir die alten bekannten Planeten und noch einige hundert neuentdeckte kreisen sahen!

Aber seit etwa hundert Jahren begann man selbst die Sonne aus ihrer zentralen Stellung zu verdrängen. Wir sehen mit wachsendem Staunen, wie sie mit ihrem ganzen System von Weltkörpern in der größeren Vereinigung von ungezählten Millionen von Sonnen, die als Milchstraße den Himmel umgürtet, kaum mehr bedeutet als irgend eine jener umherschwärmenden Feuerkugeln in der engen Welt des Sonnensystems, die gelegentlich in unsere Atmosphäre eindringen. In dieser ungeheuern Weltperspektive, zu der Kopernikus den Weg eröffnete, ist die Erde, der stolze Besitz des Menschengeschlechtes, nicht mehr wert als ein Atom, das im Luftkreis unserer Erde scheinbar ziellos umherirrt und doch, von ewigen Gesetzen getrieben, seine Arbeit vollbringt zur Ordnung, zum Wohl des Ganzen.

---

18. Die Doppelsterne.

Die wunderbare Übereinstimmung aller Grundzüge des Weltenbaues, soweit wir ihn übersehen können, die namentlich auch in der Form unseres Milchstraßensternhaufens hervortrat, legt die Frage nahe, ob nicht noch weitere Züge der Übereinstimmung mit der engeren Welt unseres Sonnensystems gefunden werden können. Im besonderen würde es uns interessieren, ob alle oder ein Teil jener unzählbaren Schar von fernen Sonnen von Erdsternen umkreist werden, auf denen wir Leben und Intelligenz vermuten dürfen wie auf dem unsrigen. Hat uns auch die astronomische Wissenschaft eindringlich genug Bescheidenheit gepredigt, so können wir uns doch nicht von der inneren Überzeugung losmachen, daß diese Intelligenz bis in ihre höchste, von uns noch ungeahnte Entwickelung hinein das letzte Ziel aller Naturentfaltung überhaupt sein müsse, und unter dieser Voraussetzung würde es uns unfaßbar erscheinen, daß die Millionen von Sonnen ihr Licht und ihre Wärme nutzlos für das Leben in den leeren Weltenraum hinausstrahlen sollten.

Allerdings müssen wir uns hüten, solchen Empfindungsschlüssen mehr Gewicht beizumessen, als genügt, um unsere Forschungsfährte in eine bestimmte Richtung zu leiten; denn selbstverständlich kann die Frage der Zweckmäßigkeit, vorausgesetzt, daß eine solche im Plane der Weltordnung enthalten wäre, nicht von Wesen gestellt werden, die einen so winzig kleinen Teil des Weltganzen übersehen wie wir. Im speziellen Falle der Fixsterne könnte man sich wohl denken, daß eine sehr große Anzahl derselben nur dazu dienen müssen, den Weltraum auf einer gewissen Temperatur über dem absoluten Nullpunkt zu erhalten. Schien uns seinerzeit, als wir erkannten, daß unsere Sonne weniger als den tausendmillionsten Teil ihrer Gesamtenergie an die Planeten abgibt, dieses Verhältnis ein ungemein wenig ökonomisches zu sein, so müssen wir jetzt, nachdem wir Tausende von Millionen anderer Sonnen im Weltraume verteilt wissen, unsere Ansicht gänzlich ändern: es findet offenbar innerhalb dieses ungeheuern Weltenkomplexes ein beständiger und notwendiger Austausch von Energie statt. Was an strahlender Wärme unsere Sonne an uns vorübergehen läßt, ersetzten uns die anderen Sonnen wieder.

Umkreisen also auch jene Sonnen Planeten, denen sowohl die Wohltaten der Gesamtheit als auch die ihrer besonderen Herrscherin zugute kommen? Wenn wir die Bezeichnung „Planeten" in unserem strengen Sinne nehmen, indem wir dunkle Körper darunter verstehen, die auf ihren Oberflächen lebende Wesen nach unseren Begriffen beherbergen können, so werden wir nur in ganz seltenen Fällen, von denen im nächsten Kapitel einige beschrieben werden sollen, Kunde von ihnen erhalten können; denn der einzige Bote, der sie uns zu bringen vermag, das Licht, versagt bei ihnen den Dienst. Die Beleuchtung durch ihre Sonne ist viel zu gering, um von uns jemals wahrgenommen werden zu können. Aber als ob uns diese bestätigende Kunde nicht vorenthalten werden sollte, begegnen wir hier Sonnen, die umeinander kreisen, wie die gesuchten Planeten es tun würden: Doppelsternen und ganzen Systemen sich um ein gemeinsames Zentrum bewegender selbstleuchtender Himmelskörper.

Schon vor mehr als einem Jahrhundert hatte der englische Mathematiker Michell eine Wahrscheinlichkeitsrechnung über die Frage angestellt, ob die fünf Sterne, die er in den Plejaden sehen konnte, nur zufällig beieinander ständen oder in physischem Zusammenhange miteinander zu denken seien, und er kam dabei zu dem Resultate, daß man für die letztere Behauptung fünfmalhunderttausend gegen eins wetten könne. Inzwischen hatte Christian Mayer in Mannheim etwa 100 Fixsterntrabanten, wie er sie selbst nannte, aufgefunden, die noch weit näher bei ihrem Hauptstern standen als die fünf Plejadensterne untereinander. Bald darauf entdeckte William Herschel eine weitere beträchtliche Anzahl solcher Doppelsterne, deren Zahl bis 1804 bereits auf 846 angewachsen war. Merkwürdigerweise hat sich dieser unermüdliche Beobachter nicht sogleich mit der Überzeugung befreunden können, daß diese Sterne in physischem Zusammenhang miteinander stehen müßten; erst durch die stetig wachsende Fülle seiner Entdeckungen ließ er sich nach und nach überführen. Nach ihm war es Wilhelm Struve, der sich mit der Ausmessung solcher Doppelsternpaare durch viele Jahre beschäftigte und dieses interessante Studium gewissermaßen zu seiner Lebensaufgabe machte. Sein Doppelsternkatalog enthält nicht weniger als 2641 Paare, bezw. vielfache Sterne, bei denen der schwächste Begleiter nicht unter 9. Größe ist und der größte Abstand zwischen Nebenstern und Hauptstern nicht mehr als 32" beträgt. Seitdem ist die Anzahl der Doppelsterne noch ganz erheblich gewachsen, und besonders haben die mächtigsten Fernrohre der



Neuzeit ungemein enge Doppelsternsysteme auffinden lassen, bei denen der Begleiter nur wenige Bruchteile einer Bogensekunde vom Hauptstern absteht, so daß er sich für weniger mächtige Fernrohre in den Strahlen des letzteren völlig verliert. Burnham hat am 36zölligen Fernrohr der Lick-Sternwarte eine große Anzahl solcher äußerst engen Sternpaare aufgefunden; er veröffentlichte 1892 einen Katalog von 1274 durch ihn entdeckten Doppelsternen, die alle zu den engsten überhaupt bekannten gehören. Im ganzen werden heute an 11,000 Doppelsternpaare am Himmel bekannt sein.

Struve hatte die Doppelsterne in acht Klassen geteilt, die nach dem gegenseitigen Abstande geordnet sind. Zur ersten Klasse gehören z. B. die Sterne bis zu 1″ Distanz, zur achten Klasse die von 24—32″. Es ist klar, daß, falls die Sterne nur scheinbar sich einander nahe befinden, während in Wirklichkeit der sogenannte Begleiter nahezu in derselben Gesichtslinie, aber weit vor oder hinter dem Hauptsterne steht, die Doppelsterne also optische, nicht physische sind, ihre Zahl mit Zunahme der gegenseitigen Entfernung wachsen muß; denn handelt es sich hier nur um ein zufälliges Zusammentreffen, so wird dies um so unwahrscheinlicher, je genauer die Koinzidenz ist. Ein entsprechendes Abnahmeverhältnis der Häufigkeit findet nun aber bei den Doppelsternen ganz und gar nicht statt. Bei der gleichmäßigen Verteilung der Sterne über die Himmelsfläche müßten im Umkreise von 0—8″ um einen Hauptstern herum viermal mehr Sterne aufzufinden sein als auf einer Fläche von 0—4″, weil die erstere viermal größer ist als diese, und so fort, so daß, wenn wir für den Abstand von 0—4″, welcher den drei ersten Struveschen Klassen entspricht, für die Sternhäufigkeit die Zahl eins setzen, wir von 0—8″ vier, bis 16″ schon 16, bis 32″ aber 64 Sterne antreffen müßten, u. s. f. Die folgende Tabelle gibt die wirklichen Verhältniszahlen der Doppelsterne nach den Struveschen Klassen.

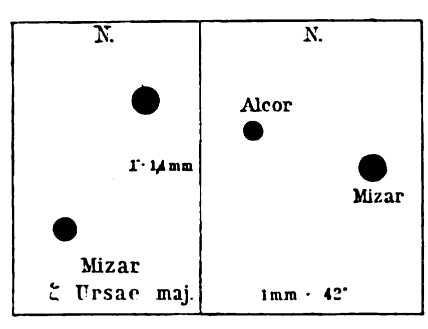
Anzahl der Doppelsterne nach den Struveschen Klassen.

Klasse	Distanz	Dupl. lucidae	Dupl. reliquae	Summe	Zahl der optischen Doppelsterne
1	0— 1″	62	29	91	0,007
2	1— 2″	116	198	314	0,023
3	2— 4″	133	402	535	0,089
4	4— 8″	130	452	582	0,358
5	8—12″	54	298	352	0,596
6	12—16″	52	179	231	0,835
7	16—24″	54	429	483	2,384
8	24—32″	52	429	481	3,338

Die ersten Kolumnen geben die Anzahl der Doppelsterne, noch in die beiden Unterklassen lucidae (helle) und reliquae (die übrigen) zerlegt, je nachdem der Begleiter heller oder schwächer als 8. Größe ist. Die nächste Kolumne enthält die Summe der beiden Unterabteilungen, und dieser folgt endlich eine theoretisch gefundene Zahl, die ausdrückt, wieviel Sterne der Wahrscheinlichkeit nach in den betreffenden Entfernungen nur zufällig nebeneinander stehen dürften, wenn man die Zahl aller Sterne bis zur 8. Größe gleich 40,000 setzt. Man sieht daraus, daß von 0—12″ erst ein einziger Doppelstern existieren sollte gegen 1874 wirklich nach dem Struveschen Verzeichnis vorhandene u. s. f.

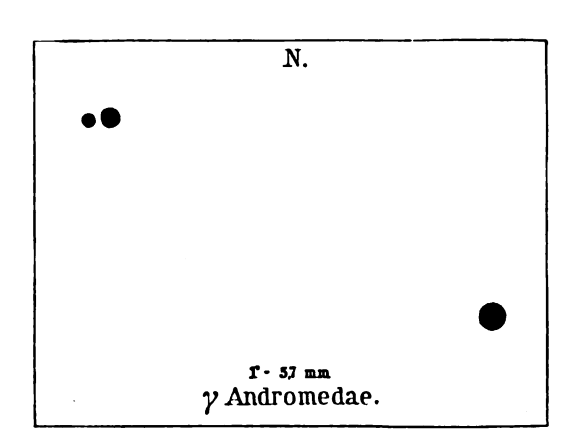
Das bedeutende Anwachsen gerade der engeren Doppelsterne gegenüber der Wahrscheinlichkeit für ein optisches Zusammentreffen tritt hier überzeugend hervor. Die moderne

Beobachtungskunst hat aber dieses Verhältnis noch sehr verstärkt, da in den letzten Jahrzehnten fast ausschließlich nur noch enge Doppelsterne entdeckt worden sind. Unter den helleren Sternen, die uns also durchschnittlich am nächsten stehen, und bei denen wir demnach einen etwaigen Begleiter am leichtesten entdecken können, ist nach heutiger Kenntnis jeder zweite oder dritte ein Doppelstern; die Doppelsonnen sind also keineswegs mehr als Ausnahmen, sondern als typische Erscheinungen der Fixsternwelt zu betrachten. Allerdings ist die Anzahl der Doppelsterne in schnellem Abnehmen begriffen, in je geringere Größenklassen wir hinabsteigen. Dieser Umstand aber fügt nur ein Argument mehr zu unserer Überzeugung, daß die Doppelheit, beziehungsweise Vielfachheit der Sterne weit überwiegend physischer Natur ist; denn in diesem Falle müssen dem Abstand der zusammengehörigen Sonnen voneinander gewisse äußerste Grenzen gesetzt sein, und bei wachsendem Abstand von uns müssen sie notwendig zu einem zusammenschmelzen, während ein bloßes optisches Zusammentreffen von zwei Sternen in gar keiner Beziehung zu ihrer Entfernung von uns stehen kann. Optische Doppelsterne müssen deshalb für alle Größenklassen gleich wahrscheinlich sein.



Mizar als Doppelstern mit Alcor. Vgl. Text, S. 381.

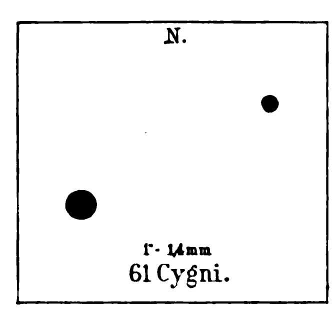
Im übrigen ist die Verteilung der Doppelsterne am Himmel im großen und ganzen mit der der einfachen Sterne übereinstimmend: wo überhaupt mehr Sterne auftreten, wie z. B. gegen die Milchstraße hin, gibt es auch mehr doppelte darunter. Hieraus erkennen wir gleichfalls, daß die Doppelsternnatur nichts Außergewöhnliches, nicht etwa nur einer besonderen Kategorie von Himmelswesen zuerteilt ist, sondern eine ganz normale Entwickelungsstufe bildet, von der wir voraussetzen dürfen, daß sie von den meisten, vielleicht von allen Sternen einmal durchgemacht wird; es könnte sonst deren nicht so viele geben, die gleichzeitig in diesem Stadium stehen.



Der dreifache Stern γ Andromedae. Vgl. Text, S. 381.

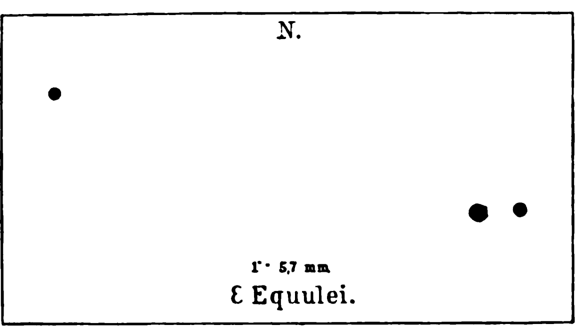
Obgleich naturgemäß die eigentlichen Doppelsterne erst nach Erfindung des Fernrohres bekannt werden konnten, da mit einem hinreichend großen Abstand beider ihn zusammensetzenden Einzelsterne (Komponenten), der ihre Entdeckung mit dem bloßen Auge ermöglicht, ihre physische Zusammengehörigkeit immer unwahrscheinlicher werden mußte, so gehören doch einige derselben zu den am leichtesten wahrnehmbaren und deshalb dankbarsten Objekten in kleinen Fernrohren. Zu diesen zählt in erster Linie der leicht auffindbare Stern ζ im Großen Bären, der mittlere Deichselstern des allbekannten Himmelswagens. Die Araber haben ihn Mizar benannt. Mit bloßem Auge bemerkt man ganz in seiner Nähe

ein feines Sternchen, Alcor, das Reiterchen, das jedoch schon einen viel zu großen Abstand hat, um in unserem Sinn als ein Nebenstern Mizars angesprochen zu werden. Letzterer Stern 2. Größe trennt sich aber bereits in Fernrohren von etwa einem Zoll Objektivöffnung in zwei mit rein weißem Licht strahlende Punkte, von denen der kleinere 4. Größe und etwa 14" vom Hauptstern entfernt ist. In unserer Abbildung Seite 380 sieht man rechts die beiden mit bloßem Auge sichtbaren Sterne. Mizar erscheint hier also einfach. Links ist dieser stark vergrößert als Doppelstern gezeichnet. Einen noch reizvolleren Anblick gewährt der ebenso leicht zu trennende Doppelstern γ Andromedae (s. die Abbildung, S. 380 unten), dessen Hauptstern 3. Größe in goldfarbenem Lichte glänzt, während dicht daneben, in 10" Entfernung, ein gleichfalls doppelter, intensiv blauer Stern 5. Größe in wundervollem Kontraste zu der Farbe des Hauptsternes steht. Dieses in das Dunkel des Himmels gefaßte Paar leuchtender Edelsteine zu bewundern, wird von den Freunden der Himmelskunde, die nur über geringe optische Mittel verfügen, immer zu ihren entzückendsten Genüssen gerechnet werden.



Der Doppelstern 61 im Schwan.

Sehr leicht ist ferner das Sternpaar 61 Cygni zu lösen (s. die obenstehende Abbildung). Es war das erste, dessen überhaupt in den Annalen der messenden Astronomie Erwähnung geschieht: Hevel maß auf seinem selbsterbauten „Stellaeburgum" in Danzig im Jahre 1659 zuerst den Abstand der beiden nahezu gleich hellen Sterne (etwa 5. Größe). Heute beträgt derselbe nahe 20". Seitdem ist dieses Sternpaar zu dem berühmtesten seinesgleichen geworden, namentlich auch, weil es, wie wir schon erwähnt haben, als eines der uns am nächsten stehenden Sonnensysteme erkannt worden ist. An der Grenze der Trennbarkeit für ein Fernrohr von nur 1 Zoll Öffnung steht ε im kleinen Sternbilde des Füllen, das etwas nördlich vom Himmelsäquator zwischen Wassermann und Adler liegt. Der Hauptstern ist 5,6. Größe, sein Begleiter 7. Größe steht 10—11" von ihm ab. Das Objekt ist insofern interessant, als es sich in großen Instrumenten als ein dreifaches System erweist, indem der Hauptstern in zwei fast gleich helle, ungemein nahe (0,4") beieinander stehende Sterne zerfällt.



Der dreifache Stern ε im Füllen.

Die Trennung enger Doppelsterne gilt für den praktischen Astronomen als eines der vorzüglichsten Prüfungsmittel für sein Fernrohr. Wir wissen, daß man in einem guten Instrument die Sterne möglichst durchmesserlos sehen muß. Ist dies nicht der Fall, so werden die zu sehr ausgedehnten Sternscheiben ineinanderfließen und ein Doppelstern von gewisser Distanz seiner Komponenten nicht mehr getrennt erscheinen. Wir geben im folgenden ein Verzeichnis solcher „Testobjekte" für kleinere Fernrohre. Das mag uns zugleich die weitere Aufzählung von Doppelsternen, soweit sich nicht besondere Betrachtungen daran knüpfen, ersparen.

Verzeichnis von Doppelsternen als Prüfungsobjekte für kleinere Fernrohre.

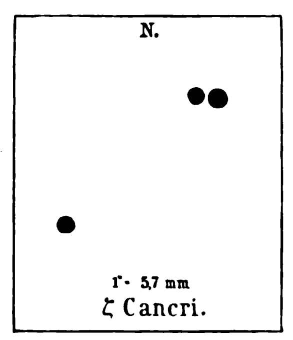
Struves Katalog	Stern	1889 Rektaszension	1889 Deklination	1889 Positionswinkel	1889 Distanz	Größe des Hauptsternes	Größe des Begleiters
Zur Prüfung für Fernrohre von 1 Zoll Objektivöffnung:							
1744	ζ Ursae maj. (Mizar)	$13^h\ 19{,}4^m$	$+55^\circ\ 30'$	148°	14,3″	2	4
2727	γ Delphini	20 41,5	+15 42	271	11,2	4	5
180	γ Arietis	1 47,4	+18 43	359	8,5	4	4. 5
205	γ Andromedae . . .	1 57,0	+41 48	63	10,3	3	5
2737	ε Equulei (C)[1] . . .	20 53,4	+ 3 52	74	10,7	5. 6	7
Für Fernrohre von 2—3 Zoll Objektivöffnung:							
1998	ξ Librae (C)	$15^h\ 58{,}3^m$	$-11^\circ\ 3'$	64°	7,5″	5	7
1864	π Bootis	14 35,5	+16 54	104	6,0	5	6
1110	α Gemin. (Castor) . .	7 27,5	+32 8	230	5,8	2. 3	3. 4
1965	ζ Coronae	15 35,2	+37 0	302	6,3	4	5
1196	ζ Cancri (C)	18 5,8	+17 59	131	5,4	5	5. 6
1670	γ Virginis	12 36,0	— 0 50	337	5,0	3	3
2140	α Herculis	17 9,6	+14 31	117	4,7	3	6
1888	ξ Bootis	14 46,3	+19 34	279	4,2	4. 5	6. 7
2909	ζ Aquarii	22 23,0	— 0 35	329	3,4	4	4
1954	δ Serpentis	15 29,5	+10 55	185	3,3	3	4
202	α Piscium	1 56,2	+ 2 13	322	2,9	3	4
1424	γ Leonis	10 13,8	+20 24	113	3,5	2	3. 4
2032	σ Coronae	16 10,5	+34 9	214	4,0	5	6
2382	ε¹Lyrae (4)	18 40,7	+39 34	14	3,1	4. 5	6. 7
1877	ε Bootis	14 40,1	+27 33	329	2,8	3	6. 7
60	η Cassiopejae	0 42,3	+57 14	160	5,0	4	7
2383	5 Lyrae (ε²)	18 40,7	+39 30	134	2,5	5	5
2130	μ Draconis	17 3,0	+54 37	161	2,4	5	5
1523	ξ Ursae maj.	11 12,8	+32 9	275	2,0	4	5
Für Fernrohre von 4—5 Zoll Objektivöffnung:							
2262	τ Ophiuchi (C) . . .	$17^h\ 56{,}9^m$	$-\ 8^\circ\ 10'$	255°	1,8″	5	5. 6
2055	λ Ophiuchi	16 25,3	+ 2 14	35	1,6	4	6
73	36 Andromedae . . .	0 48,9	+23 2	7	1,3	6	7
948	12 Lyncis (A, B) . .	6 36,3	+59 34	124	1,5	5	6
333	ε Arietis	2 52,9	+20 53	201	1,6	5. 6	6
299	γ Ceti	2 37,4	+ 2 46	292	2,8	3	7
1865	ζ Bootis	14 35,8	+14 13	295	0,8	3. 4	4
460	49 Cephei	3 51,2	+80 23	37	0,7	5	6
262	ι Cassiopejae (A, B) .	2 19,9	+66 54	264	2,0	4	7

[1] C bezeichnet in dreifachen Sternsystemen den zweiten, vom Hauptstern (A) ferneren, B den ersten, näheren Begleiter.

Die Trennbarkeit der Doppelsterne wird nicht nur mit abnehmender Distanz schwieriger, sondern namentlich auch mit zunehmendem Helligkeitsunterschied der beiden Sterne. Ein sehr heller Stern verbreitet selbst in den besten Fernrohren eine weit ausgedehnte Aureole um sich. Wenn sich z. B. Sirius dem Gesichtsfeld des großen Wiener Refraktors nur nähert, so geht ihm etwas wie eine helle Dämmerung voraus, und der Eintritt ins Feld überreizt im ersten Augenblick das Auge, als sähe man wirklich in die Sonne selbst. Diese Aufhellung der Umgebung ist offenbar nur zum geringsten Teile die Wirkung des Instrumentes, sondern hauptsächlich eine wirkliche Dämmerungserscheinung, hervorgerufen durch eine diffuse

Beleuchtung der Atmosphäre beim Durchgang des Sternlichtes. In dieser Dämmerung aber verschwinden kleinere Sterne ebenso wie vor Sonnenaufgang. In der Tat besitzt Sirius einen Begleiter, der alleinstehend als Stern 9. Größe in Fernrohren von mittleren Dimensionen sehr leicht zu sehen sein würde, und sein Abstand vom Hauptstern, der bis zu 10″ ging, hätte ihn, wenn er nicht bei einem so mächtigen Rivalen stände, zu einem leicht trennbaren Objekt gemacht, während er in Wirklichkeit zu den recht schwierigen Objekten dieser Art gehört. Dieser Siriusbegleiter ist wie der Planet Neptun theoretisch als vorhanden vorausgesehen worden, worauf wir noch zurückkommen.

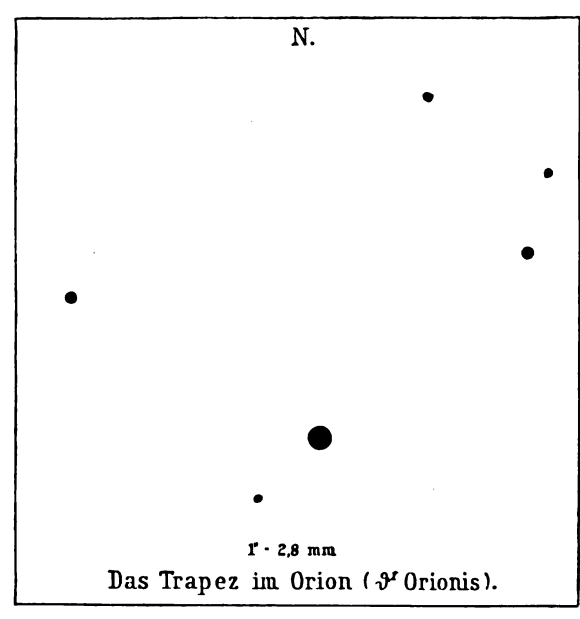
Schon oben erwähnten wir zwei dreifache Sterne. Auch diese sind verhältnismäßig nicht selten; in dem Struveschen Katalog sind ihrer 113 verzeichnet. Darunter befinden sich 57, bei denen die äußerste Distanz 32″ nicht überschreitet, und bei denen keiner der drei Sterne die 8. Größenklasse wesentlich übertrifft. Das berühmteste dieser dreifachen Systeme bildet ζ Cancri, das wegen der eigentümlichen Bewegungen die besondere Aufmerksamkeit namentlich der Theoretiker auf sich gezogen hat. Da seine drei Komponenten nahezu von gleicher Helligkeit sind (5,0., 5,7. und 5,5. Größe) und der entferntere Begleiter über 5″ vom Hauptstern absteht, so ist das Objekt als Doppelstern leicht wahrzunehmen. Schwerer ist der nähere Begleiter vom Hauptstern zu trennen; die Distanz der beiden übersteigt kaum 1″. Vierfacher Systeme zählt Struve neun auf. Früher mußte man zu diesen das bei anderer Gelegenheit oft genannte Trapez im Orionnebel zählen. Schon in kleinen Fernrohren erkennt man diese vier Sterne, deren Helligkeit zwischen 4., 5. und 8. Größe liegt, und die in einem Umkreise von 10″ zusammenstehen. Später sind indes noch zwei feine Sternchen hinzuentdeckt worden, und neuerdings glaubt man innerhalb des Trapezes einen siebenten gesehen zu haben. Wir hätten es also hier mit einem siebenfachen System zu tun, das sich inmitten der großen Nebelwelt gebildet hat.



Das dreifache System ζ im Krebs.

Zu den vierfachen Sternen kann man auch noch ε^1 und 5 Lyrae rechnen. Die Komponenten des nördlicheren Doppelsternes sind 4,6. und 6,3. Größe und stehen 3,6″ voneinander ab. Der zweite befindet sich etwa 200″ südlich vom ersteren. Sein Anblick ist dem des ersteren fast gleich; die Komponenten sind von der 4,9. und 5,2. Größe und haben 3″ Distanz. Das in mittleren, selbst kleineren Fernrohren von 2—3 Zoll Öffnung sehr schön sichtbare Objekt ist leicht in der Nähe der strahlenden Wega aufzufinden. Gewisse gemeinsame Bewegungen, die beide Doppelsterne ausführen, machen es wahrscheinlich, daß beide Sternpaare in der Tat zusammengehören, also nicht nur zufällig, nebeneinander stehen, obgleich eine so beträchtliche Entfernung sie trennt. Zwischen den Doppelsternpaaren bemerkt man noch drei sehr schwache Sternchen unter 9. Größe, die jedoch vermutlich nicht zu dem System gehören, sondern weit hinter ihm stehen. Struve führt ferner zwei fünffache und ein sechsfaches System an; letzteres, im Hasen befindlich, ist durch Burnham bei abermaliger Trennung zweier Sterne sogar zu einem achtfachen geworden. Endlich erwähnt Burnham noch ein sechzehnfaches System. Eine Grenze nach oben hin ist hier offenbar nicht mehr anzugeben, da schließlich die vielfachen Sterne allmählich in Sterngruppen, wie die Plejaden, und diese wieder in Sternhaufen bis zu den dichtgedrängtesten übergehen.

Das ausschlaggebende Merkmal für die Berechtigung, solche zusammenstehenden Sterne als Sternsysteme zu bezeichnen, bleibt immer ihre gemeinsame Bewegung, die ihren dauernden Zusammenhang sichert. Für die großen Gruppen, wie die Plejaden, werden wir diese Bestätigung später in einer gleichen Eigenbewegung im Raume finden. Bei den Doppelsternen ist in einer großen Anzahl von Fällen eine Kreisbewegung um ein gemeinsames Zentrum unzweifelhaft nachgewiesen, so daß wir es hier sicher mit Himmelskörpern zu tun haben, die sich durch nichts als ihr selbständiges Leuchten von den Planeten unseres Sonnensystems unterscheiden. Wir werden im zweiten Hauptabschnitt die Besonderheiten dieser kreisenden Bewegungen zu besprechen haben und führen hier nur zur Orientierung an, daß in etwa fünfzig Fällen diese Bewegung rechnerisch derart genau festgelegt ist, daß wir die gegenseitige wechselnde Lage der beiden Sterne zueinander für Jahrhunderte voraus so genau angeben können, wie es unsere Winkelmeßkunst am Himmel nur immer zu kontrollieren vermag.



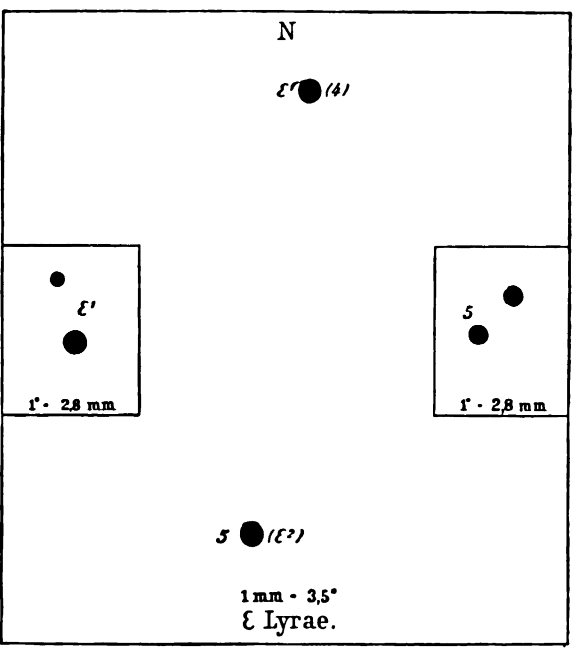
Das Trapez im Orion (ϑ^1 Orionis).

Der sechsfache Stern ϑ^1 Orionis. Vgl. Text, S. 383.

Nach Flammarion haben seit ihrer Entdeckung sich 13 Sterne mehr als 360, 5 mehr als 270, 10 mehr als 180, 15 mehr als 90, 21 mehr als 45 und 92 mehr als 20° um ihr gemeinsames Zentrum gedreht; bei weiteren 663 Sternpaaren ist eine kreisende Bewegung unzweifelhaft erkannt. Die kürzeste Umlaufszeit beträgt etwa 5½ Jahre, ist also nur etwa halb so groß wie die des Jupiter. Sie ist von Hussey beim Stern δ im Füllen festgestellt worden. Allerdings befinden sich die beiden Komponenten kaum eine halbe Bogensekunde voneinander entfernt, so daß die Trennung nur in den besten Instrumenten gelingt. Zehn andere sehr nahe Doppelsterne haben Umlaufszeiten, welche die des Saturn noch nicht erreichen. Setzen wir bei den Doppelsternsystemen ähnliche Verhältnisse voraus wie bei dem unserer Sonne, so kann es uns nicht wundern, daß die kürzesten Umlaufszeiten auch den geringsten Entfernungen der Körper voneinander entsprechen. Wenn andere Doppelsterne gefunden werden, die bei größeren Umlaufszeiten trotzdem sehr kleine Abstände ihrer Komponenten aufweisen, so ist dies als eine Folge ihrer bedeutend größeren Entfernung von uns aufzufassen. Der nächste von allen Sternen überhaupt, die wir daraufhin prüfen konnten, ist der für unsere Breiten leider nicht mehr sichtbare erste Stern im Centauren; er ist zugleich der weiteste Doppelstern unter allen, die eine unzweifelhafte Umlaufsbewegung zeigen. α Centauri ist der dritthellste Stern am ganzen Himmel, und sein Begleiter ist 2. Größe. Die größte Entfernung, die er während seines Umlaufes vom Hauptstern einnehmen kann, beträgt etwa 18″; er ist somit der hellste und schönste Doppelstern,

den wir kennen. Beide Sterne umkreisen das gemeinsame Zentrum in 81 Jahren, also etwa in derselben Zeit, die Uranus für seinen Umlauf um die Sonne braucht. Andere, sicher nachgewiesene Umlaufszeiten reichen etwa bis zu der des Neptun, beziffern sich also auf rund 150 Jahre. Zwar sind bei γ Leonis, σ Coronae und α Geminorum (Castor) Umlaufszeiten von 400, beziehungsweise 800 und 1000 Jahren berechnet worden, doch reicht die Anzahl und die Genauigkeit der bis jetzt vorliegenden Beobachtungen nicht aus, um diese Zahlen innerhalb enger Grenzen zu verbürgen.

Jedenfalls bestätigt es sich allgemein, daß bei den Systemen der Doppelsterne ähnliche Verhältnisse in bezug auf die Umlaufszeiten obwalten wie im Sonnensystem. Daß wir bei jenen fernen Sonnen kleinere Umlaufszeiten nicht direkt wahrnehmen, kann nicht auffallen, da die anderen darauf hinweisen, daß unsere optischen Mittel nicht mehr ausreichen, um solche Trabanten, die nach Analogie unserer entsprechenden Planeten dem Hauptstern ungemein nahe stehen müßten, noch von diesem zu trennen. Ferner dürfen wir mit gutem Rechte vermuten, daß nähere Trabanten auch wie bei uns die kleineren sein werden und uns schon deshalb verborgen bleiben.



ε in der Leier als vierfacher Stern. Vgl. Text, S. 384.

Der wesentlichste Unterschied, der zwischen diesen Sternsystemen und dem unserer Sonne noch übrigbleibt, ist der des Selbstleuchtens der Fixsterntrabanten. Aber gerade dieser Umstand gibt uns einen der wichtigsten Fingerzeige zu unserer Entwickelungsgeschichte der Gestirne, wie wir sie bisher aus den Formen und Anordnungen der Nebel und Sternhaufen entziffert zu haben glauben. Der Grundzug dieser Entwickelung war fortschreitende Verdichtung der Materie, die meist von mehreren Zentren aus erfolgt, so daß Lichtknoten und endlich gesonderte Sterne entstehen. Vielfach erkannten wir auch an der Form der Nebel, daß irgend eine äußere Einwirkung eine drehende Bewegung der gesamten Masse hervorbrachte, und bei einigen war ein begleitender Nebel vorhanden, der zum mindesten verdächtig erschien, die Ursache dieser Wirbelbewegung zu sein. Wie dem in Wirklichkeit auch sein möge, ein solcher Spiralnebel wird doch mit seinem Begleiter bei fortschreitender Verdichtung zunächst einen planetarischen Doppelnebel und schließlich einen Doppelstern bilden, der eine Umlaufsbewegung in dem Sinne jenes Wirbels zeigt. Denken wir uns einerseits den Zustand unseres Sonnensystems, wie er in nicht sehr weit zurückliegender Vergangenheit gewesen sein muß, wenn seither der Abkühlungsprozeß, dem die Planeten zweifellos unterworfen sind, fortdauerte, so müssen wir überzeugt sein, daß auch

unsere Sonne einst einen Doppelstern in Jupiter besaß, der sogar heute noch, wie es wenigstens wahrscheinlich gemacht ist, eigenes Licht ausstrahlt. Jupiter, als der größte unter den Planeten, mußte jedenfalls seine Eigenwärme am längsten von allen übrigen bewahren. Eine gewisse Zeitspanne vorher war das Sonnensystem sogar ein drei- und mehrfacher Stern, als Saturn und andere Planeten noch selbst leuchteten. Auch unsere Erde muß einmal eine Sonne gewesen sein; denn ihre tiefstliegenden Gesteinschichten deuten durch ihre Struktur darauf hin, daß sie einst in feurigem Fluß gewesen sind.

Nachdem das Studium des gestirnten Himmels uns den Beweis geliefert hatte, daß alle seine Sterne Sonnen sind, und wir nun der unsrigen ihren Platz unter ihnen angewiesen hatten, gelang es uns sogar, einige jener engeren Züge wiederzufinden, die unsere Erdenwelt als Planet mit ihrem gewaltigen Zentralgestirn verbinden. Von ihr Schritt vor Schritt weiter emporsteigend in die große Welt der Welten, hatten wir deren letzte Grenzen erreicht, und dort, im letzten Dämmerscheine der Unendlichkeit, finden wir verwandte Welten wieder. Keine Tatsache der Beobachtung tritt unserem Glauben daran entgegen, daß diese strahlende Energie der durch die Räume wimmelnden Sonnenschwärme überall die schöne Blüte des Lebens, der Freude am Bewußtsein, entfaltet habe.

Aber wir dürfen uns auch nicht wundern, wenn wir gelegentlich fremdartigen Zügen begegnen, die wir zunächst nicht zu deuten verstehen, oder die jenen Welten ein Gepräge geben können, das wir uns nur sehr unvollkommen vorzustellen vermögen. Zu diesen Welten gehören die Doppelsterne mit sehr verschiedenfarbigen Komponenten. Wissen wir uns schon schwer in die Welt eines Planeten zu versetzen, an dessen Himmel zwei oder noch mehr Sonnen auf- und untergehen, so können wir uns die märchenhafte Farbenpracht einer Erdenwelt kaum noch vorstellen, in der diese Sonnen verschiedenfarbiges Licht ausstrahlen. Wenn dort die eine, sagen wir die rote, Sonne allein über dem Horizonte steht, wird die Landschaft von den warmen Farbentönen unseres Morgen- und Abendrots beständig übergossen sein. Geht dann die zweite, grüne, Sonne auf, so werden alle Dinge zwei Schatten werfen, aber diese Schatten sind nicht schwarz, sondern farbig, der von der roten Sonne geworfene grün, der andere rot, und alle übrigen Schattierungen der Gegenstände werden, auch wenn sie an sich farblos sind, die wundervollsten Übergänge dieser Farben aufweisen, je nachdem ihre körperliche Gestalt der einen oder der anderen Sonne mehr Fläche darbietet. Eine unbeschreibliche Farbenskala muß die Glücklichen immer wieder entzücken, die dort leben und sehen dürfen. Farblos weiß oder dunkel sind dort fast unbekannte Begriffe. Die Zeiteinteilung trennt sich in rote, grüne oder in ein- und zweischattige Tage, die Jahreszeiten nach ein- und zweisonnigen, je nachdem die sich langsam verändernde Lage der beiden Licht und Wärme spendenden Gestirne ihre Wohltaten verdoppelt oder ihre Wirkungen wieder trennt.

Kehren wir von diesem Ausflug in die farbenprächtige Welt anderer Planeten im Reiche der Doppelsonnen, die wir nach dem Vorgang des phantasievollen Littrow unternahmen, wieder auf unseren irdischen Beobachtungsposten zurück, so führt uns dieses verhältnismäßig häufige Auftreten verschiedenfarbiger Doppelsterne zu manchen Schwierigkeiten, sobald wir auch sie in unsere Entwickelungsreihe zu ordnen versuchen. Man muß doch annehmen, daß ein solches Sternenpaar seit Beginn seiner Entstehung unter gleichen äußeren Verhältnissen sich weiter gebildet habe; dann muß das kleinere von beiden Gestirnen die Entwickelungsstufen rascher durchlaufen als das größere, weil es sich schneller abkühlt. Jupiter,



der nach unserer vorhin ausgesprochenen Ansicht ehemals mit der Sonne einen Doppelstern bildete, ist heute nahezu ein dunkler Weltkörper, und nur gewisse außergewöhnliche Erscheinungen, wie der früher ausführlich besprochene rote Fleck (S. 161), deuten auf den Durchbruch rotglühender Massen an seiner Oberfläche hin. Jupiter war also gewiß einmal ein roter Begleiter der weißstrahlenden Sonne. Wir dürfen sogar annehmen, daß die Sonne als Hauptstern in einer weit zurückliegenden Zeit eher noch etwas bläulich als gelblich, wie jetzt, gefärbt war, denn die bläulichen, die Siriussterne, gehören nach unseren Vermutungen (S. 333) einer früheren Entwickelungsepoche an als die gelblichen Sonnensterne.

Bei verschiedenfarbigen Doppelsternen müßten also die roten Begleiter am häufigsten vorkommen, weil sie eben als die kleineren Körper schneller in das Stadium der Rotglut gelangen. In Wirklichkeit ist aber das Verhältnis gerade umgekehrt. Der Farbenunterschied nimmt zwar in auffälliger Weise zu, je verschiedener die Größenklassen für Haupt- und Nebenstern sind, und dies würde durchaus im Einklang mit unserer Ansicht stehen. Aber es zeigt sich gleichzeitig, daß die Farben dieser Begleiter vorwiegend nach dem violetten Ende des Spektrums hinneigen, die des Hauptsterns dagegen nach dem roten. Wir können uns diese seltsame Abweichung zunächst noch nicht erklären, und wir kommen über diese Schwierigkeit nicht dadurch hinweg, daß wir das häufige Vorkommen komplementärer Farben bei den Sternpaaren einfach für eine optische Täuschung erklären, wie man es ehemals versucht hatte. Man kann allerdings sehr leicht ein Experiment machen, das dieser Vermutung Nahrung gibt, indem man neben eine farbige, etwa rote, Lichtquelle ein weißes Stück Papier so hält, daß es nur von weißem Lichte getroffen werden kann; es wird dann entschieden grünlich aussehen, die komplementäre Farbe wird durch Kontrastwirkung auf unserer Netzhaut ausgelöst. Es soll nicht bestritten werden, daß ähnliche Wirkungen die Farbenunterschiede bei den Doppelsternen verstärken können; allein sind sie aber hierdurch nicht zu erklären, da auch andere als komplementäre Farben häufig genug auftreten. Ganz ausschlaggebend ist endlich das Experiment, einen der Sterne im Gesichtsfeld zu verdecken; ist die Farbe des anderen nur eine optische Täuschung, so müßte sie dann verschwinden; dies tritt aber nicht ein.

Die sicherste Entscheidung über die Wirklichkeit dieser Farbenunterschiede würde natürlich das Spektroskop treffen können, aber es stellen sich dabei große technische Schwierigkeiten heraus. Die deutlich verschiedenfarbigen Doppelsterne stehen entweder so nahe beieinander, daß man ihre Komponenten nicht getrennt in das Gesichtsfeld des Spektroskops bringen kann, oder der Begleiter ist zu schwach, um überhaupt noch eine spektroskopische Untersuchung zuzulassen.

Dagegen hat das Spektroskop auf dem Gebiet der Doppelsternforschung einen schönen Triumph gefeiert durch die Entdeckung der Doppelsternnatur einiger hellen Sterne, deren Begleiter wohl niemals direkt im Fernrohr gesehen werden können. Als charakteristischsten Vertreter dieser seltenen Art von binären Systemen ist α Virginis, die schöne, weißleuchtende Spica, hinzustellen. Vogel in Potsdam entdeckte in den Jahren 1889 und 1890, daß die Linien im Spektrum dieses Sternes ihre Lage zu den betreffenden Linien einer irdischen, also ruhenden Lichtquelle periodisch ändern. Eine konstante Verschiebung würde nicht weiter aufgefallen sein, denn diese wird bei fast allen Sternen nachgewiesen und beweist ihre im Raume gleichmäßig fortschreitende Bewegung. Die besondere Art der Veränderlichkeit dieser Verschiebungen bei Spica aber konnte nicht anders als durch eine kreisende

Bewegung gedeutet werden, die der Stern außer seiner fortschreitenden noch ausführen muß. Folgende Bewegungen per Sekunde ergeben sich aus den Potsdamer Beobachtungen:

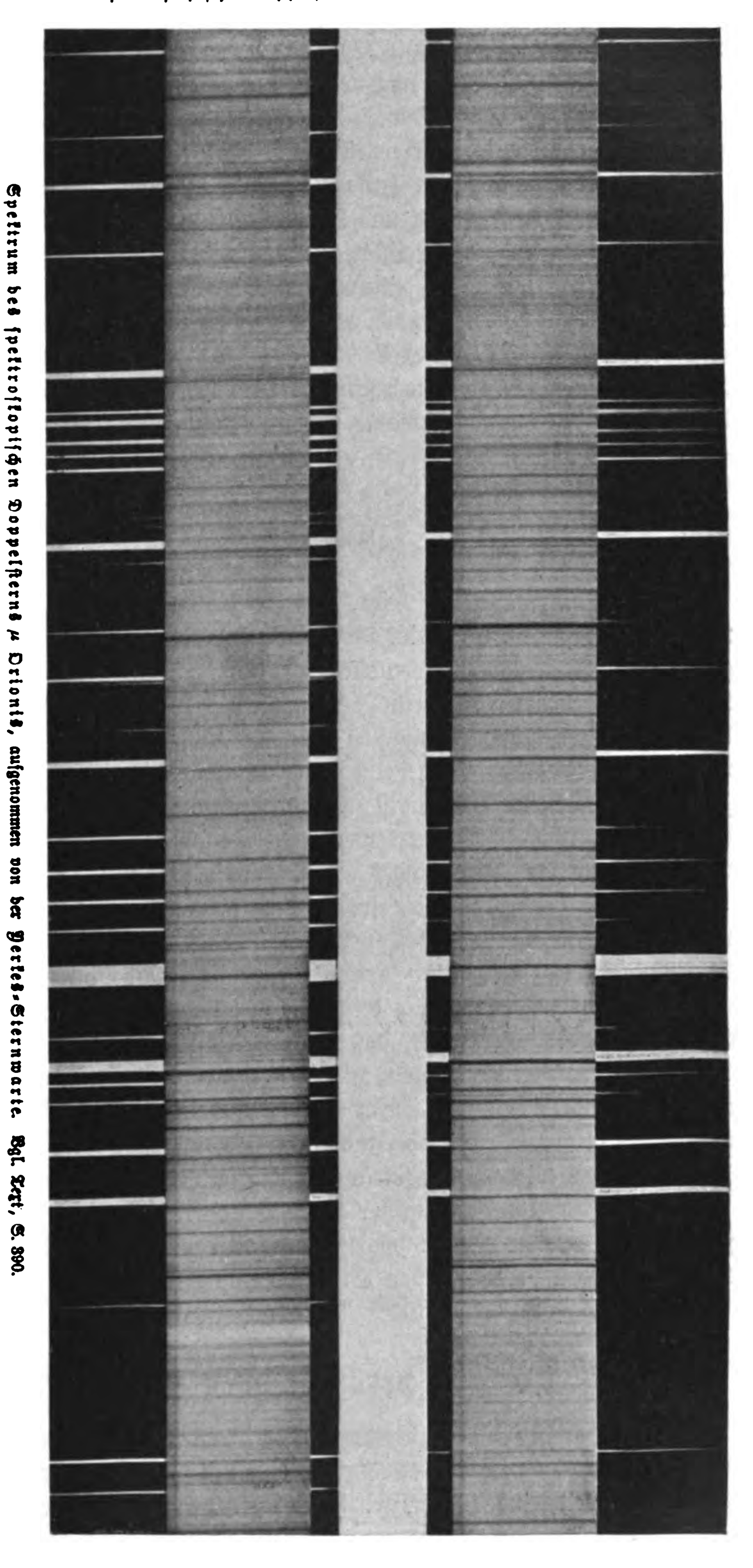
Jahr	Tag u. Monat	Mittlere Zeit Potsdam	Bewegung per Sekunde in Kilometern	Jahr	Tag u. Monat	Mittlere Zeit Potsdam	Bewegung per Sekunde in Kilometern
1889	21. April	$9^h\ 15^m$	— 91	1890	10. April	$11^h\ 30^m$	— 1
1889	29. April	11 10	— 98	1890	11. April	10 50	+ 56
1889	1. Mai	10 58	+ 46	1890	13. April	10 50	—109
1890	4. April	11 30	— 21	1890	15. April	11 0	+ 81
1890	9. April	10 30	—104				

Wir sehen daraus, daß die Bewegung des Sternes in der Gesichtslinie bald gegen uns hin, bald von uns weg gerichtet ist. Wir würden also die Bahn sehr verkürzt sehen, ungefähr so wie die der Planetenmonde, denn hätten wir sie in der geraden Aufsicht vor uns, so würde keine relative Geschwindigkeitsänderung stattfinden können. Aus den beobachteten Linienverschiebungen, bezw. den oben angegebenen Zahlen, läßt sich leicht finden, daß der unsichtbare Doppelstern einen Umlauf bereits in 4 Tagen 0,3 Stunde vollendet, und daß die Geschwindigkeit des Hauptsterns in seiner Bahn 89 km in der Sekunde beträgt; das ganze System bewegt sich in derselben Zeit um 22 km von uns hinweg. Nimmt man nun nach Analogie des Sonnensystems an, daß die Bewegung ungefähr in einer Kreisbahn erfolgt, so kann man sogar auf das leichteste den Durchmesser dieses Kreises in Kilometern berechnen, obgleich wir im übrigen es mit ganz unbekannten Entfernungen zu tun haben. Wir brauchen zu diesem Ende nur auszurechnen, wieviel Sekunden die oben angegebene Umlaufszeit umfaßt, und diese mit 89 zu multiplizieren; wir erhalten dann den Umfang der Bahn in Kilometern und können nun den Halbmesser mit Hilfe der bekannten Zahl π daraus unmittelbar finden. Es ergeben sich dafür 4,880,000 km.

Wir haben hier durch das zerlegende Prisma eine Welt entdeckt, die dem Mittelpunkte ihres Systems noch zwölfmal näher steht als unser sonnennächster Planet dem seinigen, und die sich etwa zweimal so schnell um das Zentrum bewegt. Eine ganz neue Art von Himmelskörpern tritt uns hier entgegen; wir würden deshalb an den Schlüssen, die uns zu ihrer theoretischen Entdeckung führten, vorsichtigerweise unsere Zweifel nicht unterdrücken, wenn nicht noch andere Wahrnehmungen am Himmel, von denen wir sehr bald zu sprechen haben, die Existenz derartig nahe beieinander befindlicher Weltkörper außer Frage gestellt hätten. Befände sich uns Spica selbst so nahe wie die allernächste Sonne im Centauren, was sicher nicht der Fall ist, so würden diese 5 Millionen km Abstand vom gemeinsamen Schwerpunkte des Systems uns unter einem Winkel von nur 0,03″ erscheinen; beide Körper könnten also, selbst wenn wir die freilich wenig wahrscheinliche Annahme machen, daß der Begleiter die gleiche Masse wie der Hauptstern besitzt, also ebenfalls um 0,03″ vom Massenzentrum entfernt bleibt, bei der hypothetischen geringen Distanz von 0,06″ auch in unseren besten Instrumenten nicht mehr getrennt gesehen werden. Auf eine direkte Bestätigung dieses höchst interessanten Ergebnisses der „Astronomie des Unsichtbaren", die schon so viele schöne Triumphe gefeiert hat, muß wohl für immer verzichtet werden.

Wahrscheinlich wird sogar dieser Begleiter überhaupt ein dunkler Körper sein. Andernfalls müßte im Spektroskop eine Erscheinung eintreten, die bei einigen anderen Sternen beobachtet worden ist, daß nämlich die Spektrallinien periodisch doppelt und wieder

einfach auftreten. Bei ungefähr gleich großen Körpern muß, wie wir im zweiten Hauptteil noch näher sehen werden, eine gemeinsame Bewegung um den Schwerpunkt ihrer Massen stattfinden. Die Verhältnisse liegen dort also ganz anders als in unserem Sonnensystem, wo ein Körper wesentlich vorherrscht und deshalb seinerseits relativ zu den Umlaufsbewegungen seiner Trabanten fast ruht. Doppelsonnen von fast gleicher Größe balancieren sich so, daß sie, immer in möglichster Entfernung voneinander bleibend, den gemeinsamen Schwerpunkt, der von keiner Masse ausgefüllt zu sein braucht, umkreisen. Wenn in einem solchen System also der eine Körper in dieser kreisenden Bewegung auf uns zuläuft, so muß sich im entgegengesetzten Teile der Bahn der andere von uns hinweg bewegen. Die Folge davon wird sein, daß die Spektrallinien des einen Sternes nach der einen, die des anderen nach der anderen Seite hin verschoben werden



Spektrum des spektroskopischen Doppelsterns μ Orionis, aufgenommen von der Yerkes-Sternwarte. Vgl. Text, S. 390.

müssen; und nur so lange, wie der eine momentan uns näher befindliche Körper sich senkrecht zur Gesichtslinie etwa nach rechts, der andere im hinteren Teile der Bahn laufende nach links bewegt, findet keine Linienverschiebung statt. (Selbstverständlich muß die Bahn gegen die Gesichtslinie stark geneigt sein. Sehen wir senkrecht auf die Bahn, so finden überhaupt keine periodischen Entfernungsänderungen statt.) Die periodische Spaltung oder doch merkliche Verbreiterung und Wiedervereinigung der Linien ist dadurch ohne weiteres erklärt. Die Begleiter dieser Sterne müssen also, im Gegensatz zu dem von Spica, selbstleuchtend sein. In neuerer Zeit mehren sich die Entdeckungen spektroskopischer Doppelsterne in auffallender Weise. Campbell und Curtis von der Lick-Sternwarte haben vor kurzem einen Katalog von 140 dieser Objekte herausgegeben, von denen freilich in 50 Fällen die Linienverschiebungen an keine bestimmte Periode gebunden zu sein scheinen. Bei 44 Sternen, deren Umlaufszeiten einigermaßen verbürgt werden konnten, verteilen sich diese wie folgt:

3 Sterne	1—2	Tage	11 Sterne	6—10	Tage	2 Sterne	6—12	Monate
3 „	2—3	„	6 „	10—30	„	1 Stern	1—2	Jahre
4 „	3—4	„	1 Stern	2—3	Monate	1 „	2—3	„
3 „	4—5	„	3 Sterne	3—4	„	2 Sterne	3—6	„
4 „	5—6	„						

Die Zusammenstellung zeigt, daß die kurzen Umlaufszeiten bei diesen Sternen bei weitem vorherrschen. Es ist dies auch ganz begreiflich, denn je kleiner die Umlaufszeiten, desto geringer die Abstände. Werden aber diese größer, so vergrößert sich auch die Wahrscheinlichkeit, die Sternpaare auch wirklich getrennt zu sehen. Die sehr kurzen Umlaufszeiten gleichen denen der ihren Planeten nächsten Monde. Jüngst hat aber Frost von der Yerkes-Sternwarte bei dem Sterne β Cephei eine so kurze Umlaufszeit entdeckt, wie sie in unserem Planetensystem nicht mehr aufzufinden ist: von nur 4 Stunden 34 Minuten. Der ganze Durchmesser der Bahn dieses Doppelsterns kann nur etwa 45,000 km betragen, das kommt ungefähr der Bahn des zweiten Marsmondes gleich.

Schließlich geben wir hier noch das am 5. und 8. Januar 1906 auf der Yerkes-Sternwarte erhaltene Spektrum des spektroskopischen Doppelsterns μ Orionis (s. die Abbildung, S. 389), das außerordentlich deutlich die veränderliche Linienverschiebung gegen ruhende Spektrallinien zeigt. Die sich durch die Abbildung ziehenden hellen Linien auf dunkelm Grunde sind die des Titans, das als Vergleichsspektrum gewählt wurde. Beim oberen Sternspektrum sind die dunkeln Linien gegen die hellen um etwa 0,6 mm, beim unteren aber um mindestens 1 mm verschoben. Es folgt daraus, daß der Stern sich am 5. Januar um 38 km in der Sekunde von uns entfernte, drei Tage darauf dagegen um 72 km. Diese Schwankungen wiederholen sich regelmäßig in Zwischenräumen von etwa drei Tagen.

Die nähere Untersuchung der Verhältnisse bei einigen dieser spektroskopischen Doppelsterne führt uns zu der im folgenden Kapitel zu behandelnden Klasse von Weltkörpern hinüber, zu den veränderlichen Sternen.

---

19. Die veränderlichen und neuen Sterne.

Neben der periodischen Verdoppelung seiner Spektrallinien zeigt der Stern β Lyrae, den wir im vorigen Kapitel erwähnten, eine mit der ersteren zusammenfallende periodische Veränderlichkeit seiner Lichtstärke. Diese letztere Eigentümlichkeit teilt er mit vielen anderen

Sternen. Ihre Zahl schwillt in neuerer Zeit, seit die wiederholten photographischen Himmelsaufnahmen eine leichte Vergleichung der Helligkeiten gestattet, so schnell an, daß die verfügbaren Kräfte nicht mehr ausreichen, das vorliegende Beobachtungsmaterial zweckentsprechend zu bearbeiten. Ein von dem Amerikaner Chandler zusammengestelltes Verzeichnis der Veränderlichen, das bis zum März 1896 reicht, enthielt 378 Nummern, seither aber hat sich die Zahl der mindestens der Lichtschwankung verdächtigen Sterne nahezu verzehnfacht. Die Astronomische Gesellschaft hat es unternommen, einen neuen Katalog dieser interessanten Sterne herauszugeben. Die jährlich im Auftrage dieser Gesellschaft von Hartwig herausgegebenen Ephemeriden enthalten die Zeiten der Maxima und Minima der Helligkeit von 522 Sternen nördlich von —23° Deklination und von 217 Sternen südlich dieses Parallelkreises.

Diese Wahrnehmung, daß die himmlischen Leuchten, die für uns angesichts der ehernen Ruhe und Unveränderlichkeit des Firmamentes seit Jahrtausenden Attribute der Ewigkeit geworden sind, dennoch Schwankungen ihrer strahlenden Kraft ausgesetzt sind, muß um so rätselhafter erscheinen, als wir bei fortschreitender Erkenntnis über die Natur der Fixsterne sie immer rückhaltloser als der unsrigen gleiche Sonnen anerkennen mußten. Bei den veränderlichen Sternen aber sehen wir ihre Lichtfülle in den verschiedensten Abstufungen und Zeitintervallen schwanken. Bei einigen ist die Periode des Lichtwechsels auf wenige Tage und selbst Stunden beschränkt, bei anderen erstreckt sich der geheimnisvolle Prozeß auf Jahre; und einige Sterne, die sogenannten temporären oder neuen, leuchteten nur einmal an Stellen des Himmels auf, wo man vorher keine Spur von einem Sterne oder doch nur ein ganz schwaches Lichtpünktchen sah. Einer, der neue Stern von 1572, übertraf dabei alle übrigen Sterne des Himmels an Glanz, blieb unbewegt an derselben Stelle des Firmamentes festgeheftet, verblaßte aber nach einigen Monaten mehr und mehr und ist schließlich ganz verschwunden. Ähnliches werden wir von dem 1901 im Perseus erschienenen neuen Stern zu berichten haben, der zu dem wunderbarsten aller Himmelsobjekte geworden ist. Einige dieser veränderlichen Sterne halten ihre Periode mit so großer Genauigkeit ein, daß ein darauf eingeübter Beobachter fast den Minutenzeiger seiner Uhr nach ihnen kontrollieren könnte. Andere halten ihre Periode nur durchschnittlich inne, und wieder andere sind ganz unregelmäßig.

Dieses Feld der „Veränderlichen" oder „Variabeln" bietet also dem Beobachter eine Fülle von interessanten Einzelheiten, die der immer sorgfältigeren Erforschung würdig sind. In neuerer Zeit widmen sich diesem reizvollen Studium sehr vielfach Laienfreunde der Sternkunde, denen sich dieses Gebiet leicht öffnet, da man fast ohne alle instrumentellen Hilfsmittel die Lichtschwankungen in wertvoller Weise verfolgen kann. Meist genügt ein gutes Opernglas, um die interessantesten Variabeln mit genügender Genauigkeit wahrzunehmen, und es gehört weiter nur noch ein gutes Abschätzungsvermögen und Ausdauer dazu, um Reihen von Beobachtungen zu liefern, die geeignet sind, wichtige Beiträge zur Erkenntnis vom Bau des Weltalls zu liefern.

Die Beobachtung der veränderlichen Sterne geschieht so, daß man einen oder besser zwei Vergleichssterne in der Nähe auswählt, von denen der eine etwas geringere, der andere etwas größere Helligkeit hat als das Beobachtungsobjekt. Man sieht nun schnell hintereinander das letztere und einen der Vergleichssterne an und schätzt den Helligkeitsunterschied in sogenannten Stufen, in die man die Größenklassen teilt. Eine solche Stufe liegt



dann gewöhnlich an der Grenze des Unterscheidungsvermögens für die ohne besondere Hilfsmittel vorgenommene Schätzung. Derartige Schätzungen werden im Laufe eines Abends öfters wiederholt, nachdem man zwischendurch andere Sterne beobachtet hat, um nicht in der Voreingenommenheit der ersten Schätzung zu bleiben. Die Vergleichung der Beobachtungen an verschiedenen Abenden, die natürlich immer mit Hilfe derselben Vergleichssterne geschehen müssen, läßt dann die Schwankungen der Helligkeit erkennen. Genauerer Angaben in Größenklassen bedarf man für diesen Fall nicht; sie wären nur durch photometrische Ausmessung der Vergleichssterne zu erhalten. Wenn man bei dieser Methode darauf achtet, daß die Vergleichssterne möglichst nahe bei dem Beobachtungsobjekte stehen, so sind alle Fehlerquellen ausgeschlossen, die durch die Ungleichheit des Luftzustandes oder der mit tieferem Stande der Gestirne zunehmenden Absorption oder Extinktion durch die Atmosphäre bedingt werden. Dieser wechselnde Stand an verschiedenen Beobachtungsabenden und das zu- oder abnehmende Mondlicht, das die scheinbare Helligkeit der Gestirne wesentlich zu ändern vermag, sind dann fast ohne Einfluß auf vergleichende Beobachtungen.

In neuerer Zeit wird auch vielfach das Rauchkeil-Photometer zu diesen Beobachtungen verwendet, das aus einem keilförmigen Stück durch entsprechende Behandlung nur teilweise durchsichtig gelassenen Glases besteht. Der Keil steckt verschiebbar in einer Hülse. Indem man ihn vor dem Auge hinschiebt, kann man die Helligkeit eines Sterns, soweit sie auf unsere Netzhaut wirkt, dadurch verändern, daß der Strahl größere oder geringere Strecken durch den verdunkelnden Keil zurückzulegen hat. Man kann also mit dieser einfachen Vorrichtung die Helligkeit des Vergleichsterns scheinbar variieren und tut dies so lange, bis er ebenso hell wie der Veränderliche erscheint; die Ablesung auf der Hülse, die erkennen läßt, wie weit man den Keil vorgeschoben hat, gibt dann den gesuchten Helligkeitsunterschied in Stufen an. Außerdem braucht man zu diesen Beobachtungen nur noch eine leidlich gute Taschenuhr, deren Angaben man ab und zu mit einer zweifellos richtig gehenden Uhr, z. B. der eines Telegraphenamtes, vergleicht.

Die vorhin angedeutete Vielartigkeit der Erscheinungen, welche die Veränderlichen darbieten, macht es von vornherein wahrscheinlich, daß wir ganz verschiedene Erklärungsursachen dafür heranziehen müssen. Es wird deshalb gut sein, die Objekte selbst sogleich in verschiedene Klassen zu trennen, die besonders zu behandeln sind. Pickering hat fünf solcher Klassen unterschieden, und zwar enthält

die erste Klasse solche Sterne, die bisher nur einmal aufleuchteten, also die sogenannten neuen oder temporären Sterne;

die zweite Klasse solche, die in unregelmäßiger Weise und in langen Perioden von Monaten und Jahren ihre Helligkeit wechseln;

die dritte Klasse Sterne, die nur gelegentlich einen schwachen, in keine Periode zu bringenden Lichtwechsel zeigen;

die vierte Klasse Sterne mit ungefähr regelmäßigem Lichtwechsel, der ziemlich gleichmäßig auf- und abschwillt;

die fünfte Klasse Sterne, deren Helligkeit bis auf wenige Stunden konstant bleibt, während sie dann ziemlich plötzlich schwächer und ebenso schnell wieder hell werden.

Im Anschluß an unsere Betrachtungen über die Doppelsterne ist es diese letztere Klasse von veränderlichen Sternen, die zunächst unser Interesse in Anspruch nimmt. Man nennt sie auch die Sterne vom Algoltypus, weil der so benannte Stern (β Persei) zuerst

die gleich näher zu beschreibenden Eigentümlichkeiten offenbarte. Montanari, ein italienischer Mathematiker und Astronom, machte bereits 1667 auf die Veränderlichkeit dieses Sternes aufmerksam und soll in einem verloren gegangenen Werke noch etwa hundert andere Variable angegeben haben. Soviel indes sicher bekannt ist, war Algol der zweite Stern, an dem diese Eigenschaft wahrgenommen wurde.

Algol, für gewöhnlich ein Stern 2. Größe, ist leicht während der Abendstunden im Herbst, Winter und Frühjahr zu beobachten. Mit Hilfe der Sternkarte wird auch der Unkundige ihn finden, wenn er die Orientierung etwa bei dem immer auffindbaren, weil für uns nie untergehenden W der Cassiopeja oder auch bei dem Himmelswagen beginnt. In dieser Helligkeit eines Sternes 2. Größe verharrt Algol jedesmal fast genau 2½ Tage; nichts unterscheidet ihn so lange von einem gewöhnlichen weißen Sterne. Dann mit einem Male beginnt sein Glanz sich zu vermindern, erst ganz langsam, dann immer beschleunigter, bis er nach 4½ Stunden um 1,2 Größenklassen (von 2,2—3,4) dunkler geworden ist. Nun aber nimmt er sofort wieder zu, und nach abermals 4½ Stunden hat er seine gewöhnliche Helligkeit wieder erreicht. Dieses letztere Zeitintervall ist unsicher bestimmt, weil zu Anfang und Ende des Lichtwechsels die Helligkeitsänderung nur noch äußerst gering ist. Nach Pannekoek, der 1902 eine umfassende Untersuchung über diesen Stern herausgegeben hat, beträgt die Zeit der Lichtschwankung 5 Stunden auf und ab, und es zeigt sich kein Unterschied zwischen der Zeit der Zunahme und Abnahme, die Lichtkurve ist völlig symmetrisch. Wir geben in der folgenden Tabelle die Helligkeitsschwankungen nach Schönfeld, vor und nach dem Minimum in Stufen nebeneinander gestellt:

Zeit bis zum Minimum	Helligkeit vorher		Helligkeit nachher		Zeit bis zum Minimum	Helligkeit vorher		Helligkeit nachher	
4h 30m	20,7	0,5	20,7	0,5	2 0	15,8	2,0	13,2	2,6
4 0	20,2	0,6	20,2	1,0	1 30	12,0	3,8	9,8	3,4
3 30	19,6	0,9	19,2	1,5	1 0	8,5	3,5	7,6	2,2
3 0	18,7	1,4	17,7	1,9	0 30	6,3	2,2	6,2	1,4
2 30	17,8	2,0	15,8	2,6	0 0	5,6	0,7	5,6	0,6

Dieses Spiel wiederholt sich seit mehr als einem Jahrhundert erwiesenermaßen regelmäßig. Zwischen den Zeiten zweier Minima liegen immer 2 Tage 20 Stunden 48 Minuten und 55 Sekunden. Aber diese Zwischenzeit selbst unterliegt beständigen regelmäßig fortschreitenden Änderungen, die nach Chandler ihrerseits wieder einer Periode von 141 Jahren unterworfen sind. 1773 war die Lichtwechselzeit etwa 3 Stunden kürzer als gegenwärtig, dagegen 1843 um etwa denselben Betrag länger. Die jetzt wieder stattfindende Abnahme wird noch bis 1914 andauern.

Im ganzen Umfang des Naturgeschehens ereignen sich die Vorgänge nirgends mit so großer Präzision wie im Gebiet der himmlischen Bewegungen. Wir werden also von vornherein auf diese Fährte gedrängt, wenn wir den Ursachen des höchst merkwürdigen Lichtwechsels bei Algol nachforschen wollen. Jedenfalls können innere physische Vorgänge hier nicht im Spiele sein, da diese nie mit solcher Genauigkeit arbeiten. Unter diesen Umständen wird man auf eine Erscheinung geleitet, die auch in unserem Sonnensystem regelmäßig auftritt und mit großer Genauigkeit vorher zu berechnen ist, die Sonnenfinsternisse, die für unseren irdischen Standpunkt ebenfalls einen Lichtwechsel unseres Hauptgestirns hervorbringen. Es zeigt sich in der Tat, daß die Verfinsterungen des Algol in ihrem ganzen Verlaufe den Charakter einer Sonnenfinsternis tragen. Wir haben also nach einem

zweiten, dunkeln Körper zu suchen, der den leuchtenden Algol umkreist und allemal nach etwa 69 Stunden nahezu durch die Gesichtslinie zwischen Algol und der Erde vorüberzieht, wodurch er das Licht des letzteren einige Stunden lang teilweise von uns abschneidet. Algol ist also unter dieser Voraussetzung kein Doppelstern mehr in dem Sinne der früher betrachteten, sondern eine von einem dunkeln Planeten umkreiste Sonne. Freilich müssen die dort herrschenden Verhältnisse sich wesentlich von denen in unserem Sonnensystem unterscheiden, denn wir haben hier einen Planeten vor uns, der wegen der bedeutenden durch ihn hervorgebrachten Lichtabschwächung nicht erheblich kleiner sein kann als seine Sonne. Wenn im Falle unserer irdischen Sonnenfinsternisse der so sehr viel kleinere Mond die große Sonne ganz zu verdecken vermag, so liegt dies an der verhältnismäßig großen Nähe des Mondes, die ihn für uns so viel größer erscheinen läßt. Bei der ungeheuern Entfernung aber, die uns vom Algolsystem trennt, kommen derartige perspektivische Verschiedenheiten der Größe natürlich nicht mehr in Betracht. Dieser dunkle Begleiter muß ferner wegen seiner so kurzen Umlaufszeit von noch nicht drei Tagen sich ungemein nahe bei seinem Hauptstern befinden, was ein weiterer wesentlicher Unterschied des Algolsystems von dem unsrigen ist.

Das Vorhandensein dieses dunkeln Begleiters ist aber auch vermittelst der spektrographischen Methode durch Vogel und Scheiner nachgewiesen worden, womit dem Kapitel der Astronomie des Unsichtbaren ein neues, höchst interessantes Objekt zugefügt worden ist. Wegen der fast gleichen Größe der beiden Körper kann keiner derselben völlig ruhen, sie müssen sich beide um ein gemeinsames Zentrum drehen. Es war also zur Prüfung des interessanten Falles von großer Wichtigkeit, die Bewegungen des Algol in der Gesichtslinie durch das Spektroskop genauer zu verfolgen. Nun kann es als eine der schönsten Errungenschaften dieser Methode gelten, daß durch sie Schwankungen dieser Geschwindigkeiten in der Gesichtslinie entdeckt wurden, welche dieselbe Periode wie der Lichtwechsel des Algol zeigen. Während der Stern in ungeschwächtem Lichte strahlt, gehen Änderungen in der Lage seiner Spektrallinien vor, die seine kreisende Bewegung außer Zweifel stellen. Folgende Beobachtungen veröffentlicht darüber Scheiner in seiner „Spektralanalyse der Gestirne“:

Mittlere Zeit Potsdam		Abstand vom nächsten Minimum		Bewegung des Algol
4. Dezember 1888	$6{,}6^h$	$11{,}4^h$	nach	—46 km
6. Januar 1889	5,7	22,4	vor	+29 -
9. Januar 1889	5,5	19,4	vor	+32 -
13. November 1889 . . .	9,3	13,3	nach	—40 -
23. November 1889 . . .	9,0	22,3	vor	+42 -
26. November 1889 . . .	8,5	19,6	vor	+45 -

Aus diesen Zahlen läßt sich, ebenso wie es z. B. für α Virginis geschehen ist, die Bahn des Algol um das gemeinsame Zentrum auf das leichteste berechnen. Da uns nun aus der Kurve des Lichtwechsels die relative Größe der beiden Gestirne und zugleich die Ausdehnung der Bahn des dunkeln Körpers bekannt wurde, so können wir unter der Voraussetzung, daß die Bahnen nahezu kreisförmig sind, ihre Dimensionen in Kilometern angeben. Die Potsdamer Forscher fanden auf diese Art folgende Zahlen:

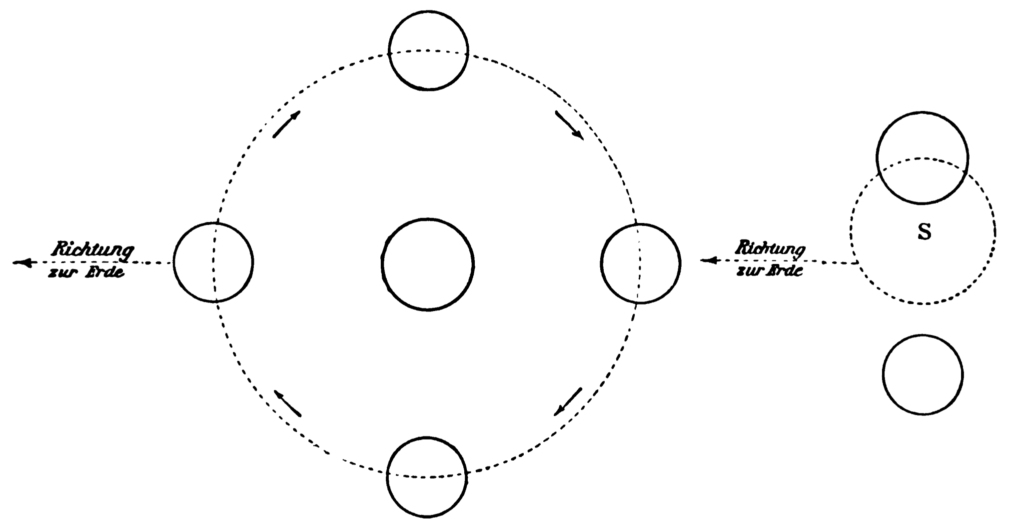
Durchmesser des Hauptsterns	1 700 000 km
Durchmesser des Begleiters	1 330 000 -
Distanz der Mittelpunkte	5 180 000 -
Bahngeschwindigkeit des Algol	42 -
Bahngeschwindigkeit des Begleiters	89 -
Bewegung des Gesamtsystems	—4 -



Mit Hilfe dieser Zahlen können wir die Verhältnisse des Systems wie in untenstehender Abbildung aufzeichnen. Wir sehen dabei, daß die Sonne dieses Systems nicht wesentlich größer ist als die unsrige (Sonne = 1,380,000 km). Der planetarische Begleiter von Sonnengröße ist allerdings ohne Vergleich.

Schwierigkeiten bereitet immer noch die Erklärung der langsamen Veränderung der Periodendauer, von der wir oben sprachen. Hierauf kommen wir im zweiten Hauptteile dieses Werkes zurück.

Die Variabeln vom Algoltypus gehören zu den seltenen Erscheinungen. Bis jetzt sind 44 Vertreter desselben am Himmel aufgefunden worden, wozu noch 5 Sterne kommen, die man unter einen „Antalgoltypus" ordnet. Bei ihnen findet der gleichfalls regelmäßige



Das Algolsystem, nach H. C. Vogel.
Die rechte Seite der Zeichnung stellt das Vorüberziehen des dunkeln Körpers vor seiner hellen Sonne dar.

Lichtwechsel in umgekehrter Weise statt, wie bei den eigentlichen Algolsternen. Ihr Licht nimmt in der kurzen Schwankungszeit gegen die sonst konstante Lichtstärke zu, statt ab.

Wir haben gesehen, daß das Vorhandensein eines Begleiters bei einem Fixstern eine gewöhnliche Erscheinung ist, und wir müssen weiter annehmen, daß noch viel mehr Begleiter existieren, als wir sehen können, entweder weil die beiden Komponenten zu weit von uns entfernt stehen, um noch zu erscheinen, oder weil der Begleiter überhaupt dunkel ist. Ist unser Sonnensystem keine abnorme Erscheinung, zu welcher Annahme gar kein Grund vorliegt, so werden in der Tat ungezählte Millionen von Planeten um Fixsterne kreisen, welche die Welträume bevölkern, ohne daß wir irgendeine Spur von ihnen entdecken. So verschwindet das Dasein von Millionen von Welten in dem großen Ganzen. Selbst unser größter Planet, Jupiter, würde aus einer Entfernung, in der unsere Sonne noch als Stern 1. Größe erscheint, keine merkliche Schwankung ihres Lichtes hervorbringen können, wenn er für diesen Standpunkt vor ihr vorüberzieht. Der Durchmesser des Jupiter ist etwa zehnmal kleiner als der der Sonne, seine lichtverdeckende Fläche also hundertmal kleiner. Für den gewählten Standpunkt ist die Sonne zweifellos ein Veränderlicher vom Algoltypus, denn sie muß für ihn alle zwölf Jahre etwa während einiger Stunden den hundertsten

Teil ihres Lichtes einbüßen, das dann von Jupiter zurückgehalten wird. Eine Lichtschwankung von einem Hundertstel einer Größenklasse ist aber durch die feinsten Photometer, wenn überhaupt, nur bei einer längeren Reihe von Beobachtungen als Mittelwert allenfalls noch festzustellen. Wir sind also noch weit entfernt, solche Entdeckungen an anderen Sternen machen zu können.

Obgleich man aus diesem Vergleich ersieht, welche interessanten Aufschlüsse über die Welt der Fixsterne fortgesetzte photometrische Messungen auch der zunächst nicht verdächtig erscheinenden Sterne zutage fördern können, so würde die Ausbeute an Algolsternen doch eine geringe bleiben müssen, weil es, um sie als solche wahrzunehmen, nötig ist, daß der verfinsternde Planet gerade zwischen uns und seinem Hauptstern hindurchgeht. Die Algolsterne müssen sich also zu den Doppelsternen etwa so verhalten, wie die scharf zugespitzten, elliptischen Nebel zu den runden, planetarischen oder allenfalls zu den in schräger Ansicht immer noch deutlich erkennbaren Spiralnebeln: wie wir hier gerade auf die Schärfe des flachen linsenförmigen Körpers sehen müssen, so muß dort die Bahn des Planeten uns in der Richtung der Gesichtslinie ganz verkürzt erscheinen. Unter Tausenden von Sonnen, die von Planeten umkreist werden, deren verfinsternde Wirkung wir noch heute bemerken könnten, werden immer nur einige diese Bedingung der besonderen Lage zu uns erfüllen, und unter diesen wieder werden wir nur diejenigen entdecken, bei denen der Dunkelkörper nicht erheblich kleiner ist als der leuchtende, so daß er noch eine beträchtliche Verfinsterung hervorzubringen vermag. Wenn einerseits die Seltenheit der Veränderlichen vom Algoltypus hierdurch erklärt ist, so bietet sie selbst wieder einen Beweis für die Richtigkeit unserer Ansicht über diese Sterne.

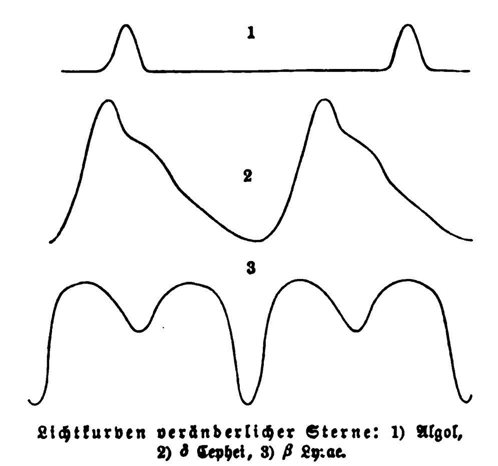
Die kürzeste Periode von allen bisher bekannten Algolsternen hat ein 1906 von Müller in Potsdam in der Cassiopeja entdeckter Veränderlicher, der innerhalb 1,195 Tagen sein Licht zwischen 6,5. und 7,8. Größe wechselt.

Einen Stern von außerordentlich großer Lichtschwankung, zwischen 7. und 11. Größe, die in eine Periode von 2 Tagen 18 Stunden 27 Minuten eingeschlossen ist, hat 1905 die unermüdliche Astronomin der Harvard College-Sternwarte, Frau F l e m i n g, entdeckt, die allein den Katalog der veränderlichen Sterne in den letzten Jahren um mehr als hundert Nummern bereicherte.

Während man noch bis vor kurzem keinen Algolstern von längerer Periode als einigen dreißig Tagen kannte (U Z Cygni hat 31,3 Tage, ein anderer, 1904 gefundener Stern im Cepheus 32,3 Tage), fand bei der Durchmusterung der in Moskau hergestellten Teile der großen photographischen Himmelskarte (siehe S. 318/19) Frau Ceraski einen solchen (R Z Ophiuchi) mit einer Periode von 130,9 Tagen, und Bohlin glaubt bei dem Veränderlichen R U Geminorum regelmäßig alle 330 Tage eine wiederkehrende Lichtabnahme erkannt zu haben, die immer 12 Tage andauert. Hierdurch wäre die Stufenfolge der Umlaufszeiten auch dieser merkwürdigen Sterne in die Größenordnung der sichtbaren Doppelsterne emporgerückt.

Die Sterne vom Algoltypus haben noch eine weitere Gemeinsamkeit, die sie namentlich von den Variabeln der zweiten und dritten Klasse charakteristisch unterscheidet: sie sind sämtlich weiß oder gelblichweiß; kein roter Stern ist unter ihnen. Sie gehören also entweder zu den eigentlichen Sonnensternen oder, und zwar vorwiegend, in eine noch frühere Entwickelungsstufe des Lebens dieser strahlenden Gestirne. Das Stadium der außerordentlich großen Begleiter, die in sehr geringen Entfernungen vom Hauptstern kreisen, gehört also jugendlicheren Zeiten des Sonnenlebens an.

Daß in einem System, in dem, wie bei den Algolsternen, zwei fast gleich große Körper in den meisten Fällen sehr nahe beieinander stehen, ganz eigenartige Beziehungen der beiden zueinander stattfinden müssen, zu denen das Sonnensystem kein Analogon bildet, ist begreiflich. Vor allem werden die Beziehungen der gegenseitigen Anziehungswirkungen Eigentümlichkeiten zeigen. Namentlich muß eine Erscheinung in ganz unvorstellbar großartiger Weise auftreten: Ebbe und Flut, die bei uns durch die besondere Anziehungskraft hervorgerufen wird, die der Mond, abgesehen von seiner Gesamtwirkung auf den Erdkörper, auf den Wasser- und Luftmantel der Erde ausübt. Ungeheure Flutwellen werden die beiden Körper umkreisen, in derselben Zeit, die sie zu einem Umlauf um ihren Schwerpunkt brauchen. Es müssen dadurch enorme Schwankungen der inneren Tätigkeit der Sonnen entstehen, die auf ihre Strahlung Einfluß haben. Es wäre deshalb ganz erklärlich, wenn die Sterne vom Algoltypus sich auch außerhalb ihrer Verfinsterungszeiten veränderlich erwiesen. Plaßmann empfiehlt daher, diese Sterne auch während ihres scheinbar gleichmäßigen Leuchtens fortgesetzt zu verfolgen und hat dies namentlich bei Algol selbst ausgeführt. Er findet in der Tat eine wenn auch sehr geringe regelmäßig wiederkehrende Lichtschwächung, ein sogenanntes sekundäres Minimum, das etwa zwanzig Stunden nach dem Hauptminimum eintritt. Vielleicht bemerken wir hierin Spuren der vermuteten Flutwelle.



Lichtkurven veränderlicher Sterne: 1) Algol, 2) δ Cephei, 3) β Lyrae.

In der dem Algoltypus nächstliegenden Klasse von Veränderlichen haben wir es offenbar mit ähnlichen Umlaufsbewegungen von hellen und weniger hellen Körpern zu tun, wenngleich hier die Verhältnisse verwickelter liegen und in den meisten Fällen noch nicht völlig aufgeklärt sind. Diese Klasse ist ebenfalls wenig zahlreich, umfaßt auch nur weiße und gelbliche Sterne, und die Periode ihrer Veränderlichkeit ist wie beim Algoltypus ganz konstant und meist nur über wenige Tage ausgedehnt. Der Unterschied beider Arten von Variabeln liegt lediglich in der Form der Lichtkurve, indem ihr Lichtwechsel sich über die ganze Periode ausdehnt; sie bleiben nicht wie die Algolsterne die längste Zeit hindurch konstant und fallen dann schnell zum Minimum ab. Gewöhnlich sind die beiden Teile der Kurve vor und nach dem Minimum ungleich, die Helligkeitszunahme tritt viel schneller ein als die Abnahme vom Maximum zum nächsten Minimum; auch zeigen sich bei einigen deutlich ausgeprägte sekundäre Minima. Durch die obenstehenden Kurven werden die Verhältnisse ohne weiteres verständlich werden. Die erste repräsentiert den Algoltypus, die zweite gehört dem typischen Stern der zweiten Gruppe δ Cephei an, die dritte dem schon mehrfach erwähnten β Lyrae.

Bei δ Cephei beträgt die Periode 5 Tage 8 Stunden 47 Minuten 40 Sekunden; sie ist ganz konstant. Es zeigt sich seit 1784 keine Spur einer langsamen Veränderung dieser Periode, wie wir sie bei Algol bemerkt hatten. Der Stern schwankt dabei zwischen 3,7. und 4,9. Größe, und zwar steigt sein Glanz vom Minimum zum Maximum in einem Tag und 15 Stunden empor, während die Abnahme zum Minimum zurück 3 Tage und 18 Stunden

dauert. Spektroskopische Untersuchungen von Belopolsky haben gezeigt, daß der Stern in genau derselben Zeit, in der sich sein Lichtwechsel vollzieht, einen Umlauf beschreibt. Seine Bahn ist nur 3½mal größer als die unseres Mondes (2,730,000 km), und aus anderen Erwägungen geht hervor, daß das problematische Sternpaar verhältnismäßig sehr klein sein muß: sein gesamter Masseninhalt ist kaum dreimal größer als der des Jupiter. Wir sind hier also bereits zu Sonnen gelangt, die ihrer Größe nach in die Kategorie unserer Planeten gehören, also gewissermaßen Sonnen zweiten Grades sind. Aber die beschriebene Art des Lichtwechsels läßt sich nicht ohne weiteres durch den Vorübergang eines dunkeln Körpers erklären; es ist nicht zu verstehen, wie der letztere fast beständig vor dem hellen bleiben kann, da doch eine fortwährende Änderung der Intensität beobachtet wird, und weshalb der dunkle Körper so viel schneller sich vor dem leuchtenden hinwegschieben kann, als er sich vorschiebt. Vielleicht sind es hier die Fluterscheinungen, die den Lichtwechsel hervorbringen, während ein oder mehrere in großer Nähe befindliche Begleiter gar nicht in die Lage kommen, Verfinsterungen erzeugen zu können, entweder weil ihre Bahn sie nicht genau zwischen dem Hauptstern und uns vorüberführt, oder weil auch sie noch selbstleuchtend sind. Im letzteren Falle müßte allerdings eine Verdoppelung der Spektrallinien eintreten; sie kann sich aber sehr verwischen, wenn die Neigung der Bahn so beschaffen ist, daß die Entfernung des umlaufenden Körpers von uns sich nicht mehr beträchtlich ändert.

Noch verwickelter liegen die Verhältnisse bei β Lyrae. Der Stern zeigt zunächst sehr deutlich zwei ungleiche Minima und zwei gleiche Maxima. Die ganze Periode umfaßt 12 Tage 22 Stunden; in seinem höchsten Glanze ist er 3,4. Größe. Im Laufe von 3 Tagen 8 Stunden nimmt er zunächst um eine halbe Größenklasse ab; dann steigt im Laufe von 3 Tagen 3 Stunden seine Helligkeit wieder auf die frühere maximale Größe an. Nun aber nimmt sein Glanz nach weiteren 3 Tagen 9 Stunden um noch einmal soviel ab als beim vorangegangenen Minimum, bis auf 4,5. Größe, um endlich nach 3 Tagen 2 Stunden zum früheren Maximum wieder emporzusteigen. Nach Pannekoek, Stratonoff und anderen treten aber innerhalb dieser großen Schwankungen noch eine ganze Reihe kleinerer auf, die sich regelmäßig wiederholen. Während in der ganzen Zeit sonst ein beständiger langsamer Lichtwechsel auf oder ab stattfindet, läßt sich jedesmal nach dem zweiten Minimum eine Zeit von etwa einem halben Tag angeben, wo das Licht des Sternes konstant bleibt. Das Spiel wiederholt sich mit größter Regelmäßigkeit: die Maxima sind stets gleich, während die Minima abwechseln. Die Zwischenräume zwischen diesen Auf- und Abschwellungen sind ebenfalls gleich. Wiederum war es der Pulkowaer Astrophysiker Belopolsky, der diesen Stern einer sorgfältigen spektroskopischen Untersuchung unterzog und auch über ihn eigentümliche Aufschlüsse gab, die freilich, worauf namentlich Vogel hinwies, die Natur des merkwürdigen Sternes nur noch verwickelter erscheinen lassen. Er teilt mit γ Cassiopejae die Eigentümlichkeit, im Spektroskop neben dunkeln Linien nicht nur helle Wasserstofflinien, sondern auch noch die helle Heliumlinie D_3 zu zeigen (Spektralklasse Ic; s. S. 329). Belopolsky hat spektrographische Aufnahmen des Sternes ausgeführt. Diese zeigen Verschiebungen, die gleichzeitig mit dem Lichtwechsel auftreten und auf eine Bahn von ca. 3,000,000 km schließen lassen würden. Die Verschiebung findet aber nur für die Gruppen heller Linien statt. Um dies zu erklären, muß man annehmen, daß beide Sterne selbstleuchtend sind, der eine, nahezu ruhende, dagegen nur dunkle Spektrallinien hat, während die hellen von dem umlaufenden Gestirn herrühren. Die Lichtabnahme entstände dann dadurch, daß uns einmal beide Gestirne Licht

zusenden, zu den Zeiten aber, wenn ein Gestirn das andere verdeckt, nur eines. Die vorhin angedeuteten Nebenerscheinungen des Lichtwechsels und auch das Verhalten der Spektrallinien dieses merkwürdigen Sternes machen indes diese Erklärungsversuche wieder zweifelhaft, so daß man über seine Natur noch keineswegs im klaren ist.

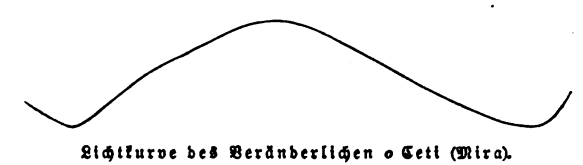
Zöllner und Pickering haben für die Variabeln dieser Klasse eine Erklärung herbeigezogen, die einen Teil der bei β Lyrae und δ Cephei gemachten Beobachtungen erklären können. Sie nahmen nämlich an, die betreffenden Sonnen seien bereits in einem Stadium vorgeschrittener Erkaltung begriffen, so daß sich sehr ausgedehnte Gebiete auf ihren Oberflächen befänden, die mit dunkeln Schollen überdeckt sind. Da wir nun voraussetzen dürfen, daß auch jene Weltkörper sich wie alle anderen, die wir daraufhin prüfen konnten, um eine Achse drehen, so werden sie in regelmäßigen Zeitintervallen einmal ihre heller leuchtende und dann wieder ihre dunklere Seite uns zuwenden, wenn die Verteilung dieser Schollen über ihre Oberfläche eine unregelmäßige ist. Kleinere Schwankungen der Lichtperiode sind dann leicht dadurch zu erklären, daß die Schollen keine feste Lage auf der Oberfläche haben, sondern, ganz ähnlich wie der rote Fleck auf Jupiter oder auch die Sonnenfleckengruppen, eigene Bewegungen auf ihrem Himmelskörper ausführen. Wenn auch bei einer Anzahl von Sternen, die in diese Klasse der Veränderlichen gehören, die vorstehende Erklärung zutrifft, so erscheint es doch befremdend, daß gerade unter diesen Sternen mit kurzer Periode solche von entschieden roter Farbe fast gar nicht vorkommen, während wir diese als ein deutliches Zeichen vorgeschrittener Abkühlung erkannten. Der Schlackenbildung muß notwendig die Rotglut vorausgehen. In den folgenden Klassen dagegen finden wir fast ausschließlich rote Sterne; für sie wäre also die Zöllner-Pickeringsche Erklärung geeigneter, wenn uns bei ihnen nicht die hier stattfindenden langen Perioden abnorm erschienen.

Über die dritte Pickeringsche Klasse der Variabeln läßt sich kaum etwas Besonderes sagen. Man hat in ihr alle die Sterne untergebracht, an denen man zwar eine Veränderlichkeit des Lichtes sicher feststellte, aber irgendeine Regelmäßigkeit darin nicht entdecken konnte, so daß man gegenwärtig unmöglich Gesetze für dieselben angeben oder über die Ursachen des Lichtwechsels wahrscheinliche Ansichten aufstellen kann. Es werden gewiß aus dieser Klasse nach fortgesetzter Untersuchung immer mehr Sterne anderen Klassen zugewiesen werden. Als Repräsentant dieser Klasse wird meist α Cassiopejae angeführt, der in unbestimmten Zwischenräumen sein Licht zwischen 2,2. und 2,8. Größe wechselt. Er ist ein roter Stern. Auch der rote Beteigeuze, der erste Stern im Orion, gehört hierher; er schwankt unregelmäßig von 1,0. zu 1,4. Größe.

Unter diese Klasse muß man auch zunächst die Fülle von Sternen in Sternhaufen und Nebeln rechnen, deren Veränderlichkeit auf photographischem Wege meist auf der Harvard-Sternwarte und von M. Wolf in Heidelberg erkannt wurde. So enthält der Orionnebel sehr viel veränderliche Sterne, und namentlich zeigte Pickering nicht weniger als 843 Sterne in der kleinen Magalhãesschen Wolke an, deren Licht schwankt. In diesem Gebilde, das auf jenen Aufnahmen im ganzen etwa 280,000 Sterne enthält, ist also durchschnittlich jeder 300. Stern veränderlich. Es muß in diesen dichten Ansammlungen von Materie noch eine verhältnismäßig große Unruhe herrschen, durch die sie eine bessere Ordnung anstreben.

Zahlreich sind die Veränderlichen der vierten Pickeringschen Klasse. Es sind solche Sterne, die in langen Perioden von mindestens zwei Monaten bis zu mehreren Jahren ihr Licht ziemlich, nicht ganz regelmäßig wechseln. Als charakteristischer Vertreter ist

hierfür Mira, der „Wunderbare", wie ihn der Danziger Ratsherr und Astronom Hevel benannte, im Bilde des Walfisches (o Ceti) anzuführen. Mira ist der erste Veränderliche, der noch vor Erfindung des Fernrohrs von Fabricius (1596) entdeckt, aber erst 1639 von Holwarda als solcher bezeichnet worden ist. Dieser Stern gehört in der Tat zu den wunderbarsten Erscheinungen des Firmaments. Zu gewissen Zeiten ist er einer der hellsten Sterne des Himmels, indem sein Glanz zwischen der ersten und zweiten Größe liegt. Er bildet in dieser Zeit ein gewohntes Glied in der Konstellation dieser Gegend, dessen Fehlen uns verwirren muß. In diesem Glanze kann der Stern einige Wochen verharren, nimmt dann aber zusehends an Leuchtkraft ab und ist siebzig und einige Tage nach dem Maximum für das bloße Auge völlig verschwunden; sieben Monate lang bleibt er unsichtbar. Vom Augenblicke seines Wiederauftauchens für das bloße Auge bis zum maximalen Glanze verfließen dagegen nur einige vierzig Tage, also im Durchschnitt ein Monat weniger, als sein Verschwinden erforderte. Die ganze Periode umfaßt demnach rund elf Monate; im Mittel aus einer langen Reihe von Lichtwechseln fand Argelander 333,3 Tage dafür. Nachdem Mira für das bloße Auge verschwunden ist, kann man seine weitere Lichtabnahme noch bis zur 9,5. Größe verfolgen. Aber alle diese Daten sind nur mittlere, beziehungsweise extreme. Die Länge der Periode kann um einen Monat und mehr schwanken, ohne ein Gesetz dabei zu zeigen, und die maximale Helligkeit kann gelegentlich nur bis auf die fünfte Größenklasse anwachsen, so daß der Stern während eines bis zweier Jahre für das bloße Auge fortwährend fast unsichtbar bleibt. Bei dem Maximum, das in der ersten Dezemberwoche 1906 eintrat, wurde Mira so hell wie α Arietis, was seit 1779 nicht mehr der Fall war.



Lichtkurve des Veränderlichen o Ceti (Mira).

Auch die übrigen Variabeln dieser Klasse zeigen meist recht beträchtliche Lichtschwankungen und zwar durchschnittlich zwischen fünf bis acht Größenklassen. Das entspricht einer Schwankung der Strahlungsintensität um das 100- bis 1500fache von einem zum anderen Zustande. Die Periode ist in keinem Falle kleiner als 65 Tage. Sie liegt meist zwischen dieser unteren Grenze und 300 Tagen; 40 Prozent haben eine längere Periode als 300 Tage, die längsten (abgesehen von einigen Sternen, deren Periodendauer noch einer näheren Prüfung bedarf, wie zum Beispiel ein von Müller und Kempf gefundener kleiner Stern, der innerhalb 7²/₃ Jahren um 0,6 Größenklasse zu schwanken scheint) besitzen zwei Sterne in der Wage, R und T, mit 723 und 725 Tagen, also fast genau zwei Jahren. Es ist wahrscheinlich, daß noch viel längere Perioden existieren; nur sind diese schwerer aufzufinden.

Höchst eigentümlich benimmt sich ein Stern dieser Art, U Geminorum, der für gewöhnlich in mittleren Fernrohren fast unsichtbar (13. Größe) ist, dann aber oft in ganz kurzer Zeit, gelegentlich im Laufe eines einzigen Tages, um etwa drei Größenklassen heraufschnellt, um dann langsam und unregelmäßig wieder schwächer zu werden. Dieses Aufflackern und Verlöschen dauert gewöhnlich zusammen etwa 20 Tage und ereignet sich alle 70 bis 150 Tage, wieder ganz unregelmäßig. Die Abnahme geht langsamer vor sich als die Zunahme, wie fast bei allen Variabeln, die nicht zum Algoltypus gehören. Der Stern scheint weiß zu sein, und es mag auch deshalb fraglich sein, wo der Stern einzuordnen ist. Vielfach wird er deshalb in die dritte Klasse gestellt.

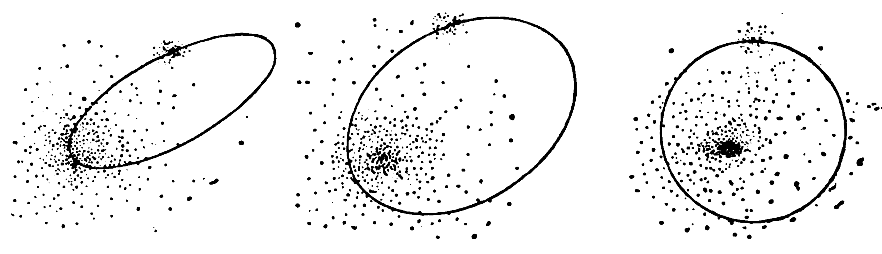
Eine fernere Gemeinsamkeit dieser Sterne ist ihre rote Färbung, die ihnen fast durchgehends eigen ist. Nimmt man die Sterne aus, deren Farbe wegen ihrer geringen Leuchtkraft oder aus anderen Gründen nicht ganz sicher festzustellen war, so bleiben 98 übrig, unter denen sich nur 2—3 entschieden weiße, 1 oder 2 gelblichweiße befinden; ferner zählt man 6 gelbe, 28 mit einer Nuance zwischen gelb und rot und 59 entschieden rote. Grüne oder blaue Sterne kommen überhaupt nicht unter den Veränderlichen vor.

Suchen wir nach einer Erklärung der geschilderten Erscheinungen, so berechtigen einerseits das auffällige Vorherrschen der roten Färbung und anderseits die nur ungefähr innegehaltenen Periodenlängen zu der Annahme, daß wir es hier mit Vorgängen physischer Art, nicht aber oder doch nur sehr mittelbar mit Bewegungsvorgängen wie bei den Sternen der Algol- oder δ Cephei-Klasse, zu tun haben. Diese beiden Arten von Himmelswesen sind nur wegen der zufällig äußerlich ähnlichen Erscheinungsweise, durch die sie uns bekannt geworden sind, unter die nämliche Rubrik gebracht worden; in Wirklichkeit muß die Ursache ihres Lichtwechsels sowohl wie ihr gesamter Charakter sie in eine ganz andere Kategorie von Weltkörpern ordnen: die Algolsterne zeigen sich als junge Himmelswesen mit glänzend weißem Lichte, welche Planeten um sich versammeln; die Verwandten der Mira dagegen sind alternde Gestirne, deren schon an den letzten Grenzen des Spektrums angelangtes Licht zeitweilig zu ermatten scheint, freilich, um sich immer wieder zu erholen. Man hat die Vorgänge auf unserer Sonne zur Erklärung jenes Lichtwechsels herbeigezogen. Wir wissen, daß die Sonne die elfjährige Periode ihres größten Fleckenreichtums gleichfalls nicht genau innehält. Denkt man sich nun diesen Prozeß, der allerdings heute die Leuchtkraft des Tagesgestirnes noch nicht meßbar vermindert, entsprechend verstärkt, was bei fortschreitendem Alter sicher eintreten muß, so wird die Sonne durchaus den Charakter der Mirasterne annehmen. Auch eine Verkürzung der Sonnenfleckenperiode wäre eine natürliche Folge der Verstärkung ihrer Tätigkeit. Ebensogut kann man aber auch die für die Sterne vom Typus δ Cephei herbeigezogene Erklärung mit besserem Erfolge als dort auf die Mirasterne anwenden, denn bei diesen roten Sternen ist die Schlackenbildung viel wahrscheinlicher als bei den meist weißen von so kurzer Periode. Die Sonne bewegt sich in rund 25 Tagen um ihre Achse; theoretisch ist erwiesen, daß in Systemen, in denen sich mehrere Körper umeinander bewegen, die Rotation um die eigene Achse beständig sich verlangsamen, bezw. den Umlaufszeiten des betreffenden Planeten gleich werden muß. Gealterte Sonnen müssen also langsamer umschwingen als jüngere: Rotationszeiten von einer drei- oder vierfachen Dauer von derjenigen unserer Sonne darf man daher für diese roten Sonnen nicht als abnorme ansehen. Veränderliche von drei- bis viermonatlicher Periode könnten auf diese Weise also ihre Erklärung finden.

Die Erscheinungen, die Mira im Spektroskop zeigt, scheinen diese Erklärung zu unterstützen. Diesbezügliche Untersuchungen sind in neuerer Zeit namentlich von Stebbins auf der Lick-Sternwarte gemacht worden. Mira hat ein Absorptionsspektrum mit hellen Linien, die meist dem Wasserstoff angehören (Vogels Klasse II b). Das Absorptionsspektrum hat große Ähnlichkeit mit dem der Sonne, wenn es auch mehr Abweichungen als das der eigentlichen Sonnensterne zeigt. Das Spektrum der hellen Linien erinnert an das der Protuberanzen und der Chromosphäre überhaupt. Es ist durch eine lange Reihe genauester Messungen nachgewiesen worden, daß weder die dunkeln noch die hellen Linien periodische Schwankungen besitzen, die den Lichtwechsel auf Bewegungsvorgänge zurückführen könnten.

Mira entfernt sich mit konstanter Geschwindigkeit um 66 km in der Sekunde von uns. Es ist hiernach anzunehmen, daß der Lichtwechsel dieses merkwürdigen Sternes durch periodische Ausbrüche chromosphärischer Gase aus seinem Inneren hervorgerufen wird, wie wir es an der Sonne wahrnehmen.

Lockyer hat eine andere Erklärung dieser Vorgänge versucht. Er hält die Veränderlichen dieser Klasse überhaupt nicht für einzelne Individuen, sondern für ganze Schwärme von Meteoriten, Weltkörpern, die an sich zwar dunkel sind, aber durch beständiges Aneinanderprallen einzelner leuchtend werden. Bewegt sich eine solche Wolke um eine andere derart, daß sie gelegentlich darin eintauchen kann, wie es in untenstehender Zeichnung angedeutet ist, so werden zeitweilig die Zusammenstöße häufiger und dann wieder seltener werden müssen; die Doppelwolke, die wir nur als Punkt sehen, leuchtet dadurch periodisch auf. Die Lichtzunahme muß hier den Beobachtungen entsprechend schneller erfolgen als die Abnahme, weil die Körper beim Zusammenstoß sofort aufglühen, aber immer nur langsam wieder erkalten. Wir haben uns in diesem Falle natürlich nicht nur Meteoriten



Erklärung der Veränderlichen vom Mira-Typus durch Meteorschwärme. Nach Lockyer.

von der Kleinheit vorzustellen, wie sie der Erde nach unserer Kenntnis begegnet sind. Auch ganze Sternhaufen können und müssen einmal erkalten und bilden alsdann Meteoritenschwärme größter Dimension. Anderseits ist anzunehmen, daß namentlich in den Sternhaufen die Sonnenkörper durchschnittlich beträchtlich kleiner sein werden, als es Einzelsonnen wie die unsrige sind. Auch die Unregelmäßigkeiten in den Perioden lassen sich durch die Hypothese von Lockyer wohl verstehen, da die Bewegungen in solchen losen Schwärmen und die Anordnung der Körper in ihnen unberechenbaren Schwankungen unterworfen sein können, wie es in der obenstehenden Zeichnung angedeutet ist. In Zusammenhang mit dieser Ansicht kann man auch die Tatsache bringen, daß Veränderliche der betrachteten Art in dichtgedrängten Sternhaufen besonders häufig sind.

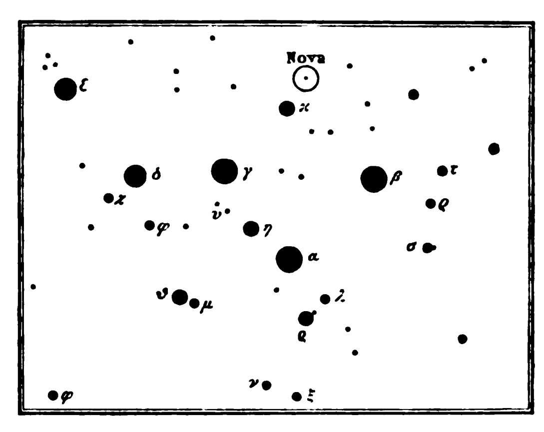
Auch unsere Erde ist in dem Lockyerschen Sinne ein veränderlicher Stern dieser Klasse. Wenn die Sternschnuppenschwärme, von denen wir früher (s. S. 232 u. f.) sprachen, mit ihr zusammentreffen, leuchtet ihre Atmosphäre auf. Vorher völlig dunkel auf ihrer Nachtseite, strahlt die Erde nun in eigenem Lichte, in schwachem Maße zwar, aber doch periodisch in schwankender Stärke; auch zeigt sie sekundäre Maxima, welche durch die verschiedenen periodischen Schwärme im Laufe des Jahres hervorgebracht werden. Wir haben uns diese in unserer unmittelbaren Nähe vorgehende Erscheinung nur tausendfältig verstärkt zu denken, um das Phänomen der Mirasterne zu verstehen.

Wir vermuten wohl mit Recht, daß die scheinbar ziel- und regellos im Raum umherschwebenden dunkeln Massen, denen wir gelegentlich begegnen, eine größere Rolle im

Weltgetriebe spielen, als man ihnen bisher zuschrieb, da sie eben wenig oder gar nicht studiert werden können. Anderseits aber gehen verschiedene Forscher, wie Lockyer und Nordenskiöld, entschieden zu weit in der Bemessung ihrer Wichtigkeit, wenn sie die Erde und alle übrigen Himmelskörper aus Meteoriten entstanden denken. Wir kommen hierauf am Ende des 2. Teiles zurück. Auch im vorliegenden Falle der Mirasterne gehen wir gewiß nicht fehl, wenn wir nur einen Teil derselben durch die Meteorhypothese erklären, andere durch Sonnenflecke und wieder andere durch Schlackenbildungen.

Zwischen den Mirasternen und den temporären besteht wahrscheinlich nur ein quantitativer Unterschied. Anfangs hätte man Mira wirklich für einen neuen Stern halten können, als sie zum ersten Male aus der Phase ihrer Unsichtbarkeit hervortrat und dann ganz allmählich wieder verschwand. Dieser quantitative Unterschied ist aber offenbar sehr beträchtlich, und von Zwischengliedern wissen wir vorläufig noch gar nichts.

Die imposanteste Erscheinung eines neuen Sternes fand im Jahre 1572 statt und erregte auch damals schon, wie später der ihm an Glanz nur wenig nachstehende, 1901 erschienene neue Stern im Perseus, von dem wir noch ausführlich zu reden haben, die Aufmerksamkeit und Bewunderung der gesamten zivilisierten Menschheit. Das Gestirn von 1572 flammte plötzlich zu Anfang November jenes Jahres in der Cassiopeja auf. Am 8. beobachtete Cornelius Gemma diese Gegend, ohne etwas Auffälliges zu bemerken; am folgenden Tage war der Stern plötzlich dort, und



Lage des Tychonischen Sterns von 1572 (Nova Cassiopejae).

zwar sofort in seinem größten Glanze, der den aller übrigen Fixsterne weit übertraf und dem der Venus zur Zeit ihrer größten Helligkeit mindestens gleichkam, so daß der wunderbare Stern am lichten Tage (natürlich mit bloßem Auge, da das Fernrohr damals noch nicht erfunden war) selbst zur Mittagszeit gesehen werden konnte. Tycho de Brahe, der berühmteste Astronom jener Zeit, sah ihn zuerst am 11. November und verfolgte ihn auf das sorgfältigste durch alle Phasen seiner Erscheinung, maß auch namentlich mit den für die damalige Zeit vorzüglichen Instrumenten seiner Sternwarte die Lage des Sternes zu den Nachbarn, die unverändert blieb. Welchen Eindruck das wunderbare Ereignis hervorbrachte, mag aus den Worten Tychos erhellen: „Da ich nun im Freien nach gewohnter Weise den Blick auf das mir wohlbekannte Himmelsgewölbe richtete, sah ich mit nicht zu beschreibendem Erstaunen nahe am Zenit in der Cassiopeja einen strahlenden Fixstern von nie gesehener Größe. In der Aufregung glaubte ich meinen Sinnen nicht trauen zu dürfen. Um mich zu überzeugen, daß es keine Täuschung sei, und um das Zeugnis anderer einzusammeln, holte ich meine Arbeiter aus dem Laboratorium und befragte alle vorbeifahrenden Landleute, ob sie den plötzlich auflodernden Stern ebenso sähen wie ich."

Zunächst blieb der neue Stern, den man gewöhnlich als den Tychonischen bezeichnet, einige Wochen lang in diesem prachtvollen Glanze, aber schon im März des folgenden

Jahres, 1573, vier Monate nach seinem Erscheinen, war er zu einem gewöhnlichen Stern 1. Größe herabgesunken. Während er bei seinem ersten Aufleuchten glänzend weiß war, nahm er nun, nach den Berichten aller Augenzeugen, eine immer rötlichere Farbe an, je schwächer er wurde. Im Mai war er nur noch von 2. bis 3. Größe, soll aber um diese Zeit wieder eine blassere (weniger rote) Farbe angenommen haben. Vielleicht handelt es sich hier um ein erneutes schwaches Auffflackern. Im November, also ein Jahr nach seinem Auftreten, war er kaum noch zu sehen, und im März 1574 blieb keine Spur mehr von ihm für das bloße Auge übrig.

Da, wie oben gesagt, Tycho Ortsbestimmungen des Gestirnes vornahm, konnte man der Frage näher treten, ob heute in unseren weltdurchdringenden Fernrohren noch ein schwacher Schimmer von ihm zu erkennen sei. In der Tat befindet sich in der Nähe des aus jenen alten Beobachtungen sich ergebenden Ortes ein Sternchen 11. Größe, das möglicherweise, doch nicht sicher, mit dem Tychonischen Gestirn identisch ist. Jedenfalls haben wir hier die wunderbare Tatsache vor uns, daß ein Himmelskörper ganz plötzlich, in weniger als einem Tage, zu einem alle übrigen überstrahlenden Glanze aufleuchten konnte, um dann viel allmählicher wieder in sein Nichts zurückzusinken. Die Kurve seines Lichtwechsels zu beiden Seiten des einzigen Maximums zeigt also, wenn auch in extremen Verhältnissen, denselben Charakter wie die der Veränderlichen von langer Periode: schnelles Aufsteigen zum Maximum und langsameres Zurücksinken. Auch die später eintretende rote Farbe deutet eine Verwandtschaft beider Arten von Erscheinungen an.

Alle übrigen neuen Sterne, übrigens die seltensten Ereignisse am gestirnten Himmel, stimmen in diesen Merkmalen überein. Man durfte deshalb die Frage aufwerfen, ob nicht die extremen Verhältnisse der Lichtkurve auf ebensolche Extreme ihrer Perioden hinwiesen, die vielleicht ebensoviel Jahre umfaßten, wie jene Veränderlichen Tage von einem zum anderen Maximum gebrauchen. Wäre aber der Tychonische Stern in historischen Zeiten schon früher einmal in ähnlichem Glanze aufgeleuchtet, so hätte er unmöglich selbst vor einem oder zwei Jahrtausenden der Aufmerksamkeit der Menschheit entgehen können; ihre Annalen würden uns also Aufschluß über diese Frage geben. Das Erscheinen überaus glänzender Gestirne, die nach und nach wieder verblaßten und endlich wieder verschwanden, wird zwar vor dem Tychonischen Stern in zehn bis zwölf Fällen gemeldet. Nicht immer ist man jedoch sicher, es mit einem Fixstern zu tun zu haben, da das charakteristische Merkmal seines unveränderten Ortes nicht deutlich genug hervorgehoben wird. Es ist dann nicht ausgeschlossen, daß es sich um helle Kometenerscheinungen handelte.

Am sorgfältigsten und klarsten, auch in der Zeit am weitesten zurückgreifend, sind hier wieder die chinesischen Annalen, die eine wahre Fundgrube astronomischer Aufzeichnungen geworden sind, während die mittelalterlichen Annalen der europäischen Kulturgebiete von Unklarheiten und Widersprüchen strotzen. Der erste dieser in den Geschichtsbüchern des Ma-Tuan-Lin verzeichnete neue Stern datiert aus dem Jahre 134 v. Chr. und erschien zwischen den Sternen β und ϱ im Skorpion. Es ist wahrscheinlich derselbe, der, wie Plinius erzählt, Hipparch zur Anfertigung seines Sternverzeichnisses veranlaßt hat, damit man später erkennen könne, ob solche neue Sterne häufiger auftreten. Andere neue Sterne führt der genannte chinesische Geschichtschreiber noch aus den Jahren 123, 173, 386, 393, 1011, 1203, 1230 n. Chr. auf. Von dem Stern von 173, der zwischen α und β Centauri auftauchte, wird ausdrücklich im Ma-Tuan-Lin hervorgehoben: „Der Stern

verschwand nach acht Monaten, als er nacheinander die fünf Farben gezeigt." Diese fünf Farben sind nach chinesischer Anschauung weiß, blau, gelb, rot und schwarz. Wir haben hier also eine ganz außerordentliche Ähnlichkeit mit dem Tychonischen Stern zu verzeichnen. Da aber der Ort aller dieser in den chinesischen Annalen aufgeführten neuen Sterne mit Sicherheit angegeben ist, so kann es sich bei ihnen um Wiedererscheinungen der „Nova von 1572" nicht handeln.

In den abendländischen Annalen sind nur zwei oder drei Erscheinungen erwähnt, die mit einiger Sicherheit auf neue Sterne zu beziehen sind: der eine flammte im 9. Jahrhundert (das Jahr ist unsicher, wahrscheinlich 827) im Skorpion auf und war vier Monate lang sichtbar; ein anderer erschien 1245 im Steinbock. Es bleiben nur noch einige zweifelhafte Mitteilungen, für welche der Ort am Himmel gar nicht angegeben ist, übrig, die man mit großer Unsicherheit als Wiedererscheinungen des Tychonischen Sternes auffassen könnte. Darunter sind solche aus den Jahren 1264 und 945. Zwischen beiden liegt ein Intervall von 319 Jahren; zwischen 1264 und 1572 liegen 308 Jahre, anderseits zwischen der Geburt Christi und 945 dreimal 315 Jahre. Ist also der Stern, der nach der Heiligen Schrift die Weisen aus dem Morgenlande nach Bethlehem führte, ein neuer Stern in unserem Sinne gewesen, so wäre eine schwache Wahrscheinlichkeit dafür vorhanden, daß er zugleich mit denen von 945 und 1264 identisch mit dem Tychonischen war. In diesem Falle läge hier ein variabler Stern mit einer Periode von 310—320 Jahren vor, der freilich gegen Ende des 19. Jahrhunderts hätte wieder erscheinen müssen. Jedenfalls ist der Versuch nicht geglückt, die Erscheinung dieses neuen Sterns auf eine Veränderlichkeit desselben von langer Periode zurückzuführen. Das gleiche gilt von allen anderen später erschienenen temporären Sternen, vielleicht mit einer einzigen Ausnahme. Nach chinesischen Annalen erschien nämlich am 1. Juli 1584 bei π Skorpii ein neuer Stern, der wegen seines tiefen Standes den abendländischen Astronomen wohl entgangen sein konnte. Unter den oben angeführten Sternen erschienen die von 134 v. Chr., 393, 827 und 1203 n. Chr. gleichfalls im Skorpion. Zwischen diesen fünf Erscheinungen liegen 522, 434, 376 und 381 Jahre, also Intervalle, die relativ nicht schwankender sind als die Perioden der Veränderlichen vom Mira-Typus. Es bleibt abzuwarten, ob um das Jahr 2000 herum abermals ein Stern im Skorpion erscheint, der mit jenen zu identifizieren ist.

Bei der sorgfältigen Beobachtung, welcher der gestirnte Himmel gegenwärtig unterworfen wird, mehrt sich auch die Zahl der neu aufgetauchten Sterne, wie die Zusammenstellung der Erscheinungen seit 1572 auf Seite 406 zeigen mag.

Unter den älteren Erscheinungen ist der Stern von 1600 namentlich dadurch interessant, daß seine Helligkeit von der dritten Größenklasse abwärts in unregelmäßigen Intervallen auf und nieder schwankte. So war er 1621 für die damaligen Fernrohre gänzlich verschwunden, also jedenfalls geringer als 6. Größe; 1655 sah ihn Cassini wieder als Stern 3. Größe, er verschwand dann abermals, leuchtete 1655 erneut auf, wenngleich er die frühere Helligkeit nicht erlangte, und sank endlich zur 6. Klasse herab, wobei er nunmehr unverändert stehen blieb. Heute befindet sich der Stern als 34 Cygni (oder als veränderlicher Stern mit P Cygni bezeichnet) in unseren Karten, ohne weiter merkwürdige Erscheinungen aufzuweisen. Wir werden sehen, daß die Nova Aurigae von 1892 ähnliche Fluktuationen zeigte, deren Erklärung auch auf den Stern von 1600 anzuwenden ist, dessen Spektrum auch heute noch das der neuen Sterne ist.

Ein Stern 1. Größe erschien 1604 im Ophiuchus und verschwand nach 16 Monaten wieder spurlos. Ihm widmete Kepler eine längere Abhandlung, so daß der Stern nach ihm benannt zu werden pflegt. Nach der Erscheinung von 1670 folgen 178 Jahre, ehe wieder, im Jahre 1848, ein neuer Stern zu verzeichnen ist. Die letztere „Nova" wurde am 27. April als Stern 4,5. Größe von Hind zuerst gesehen; 1850 war er bereits 11. Größe, und inzwischen scheint er ganz verschwunden zu sein. Der erste überhaupt nicht mit bloßem Auge sichtbar gewordene neue Stern wurde am 21. Mai 1860 von Auwers im Skorpion entdeckt; er war im Maximum 7. Größe.

Nach ihm beginnt aber eine ganz neue Ära für die Erforschung der temporären Sterne, da nun die geheimnisvollen physischen Vorgänge, die offenbar ihr Auftreten bedingen, mit Hilfe des Spektroskops verfolgt werden konnten.

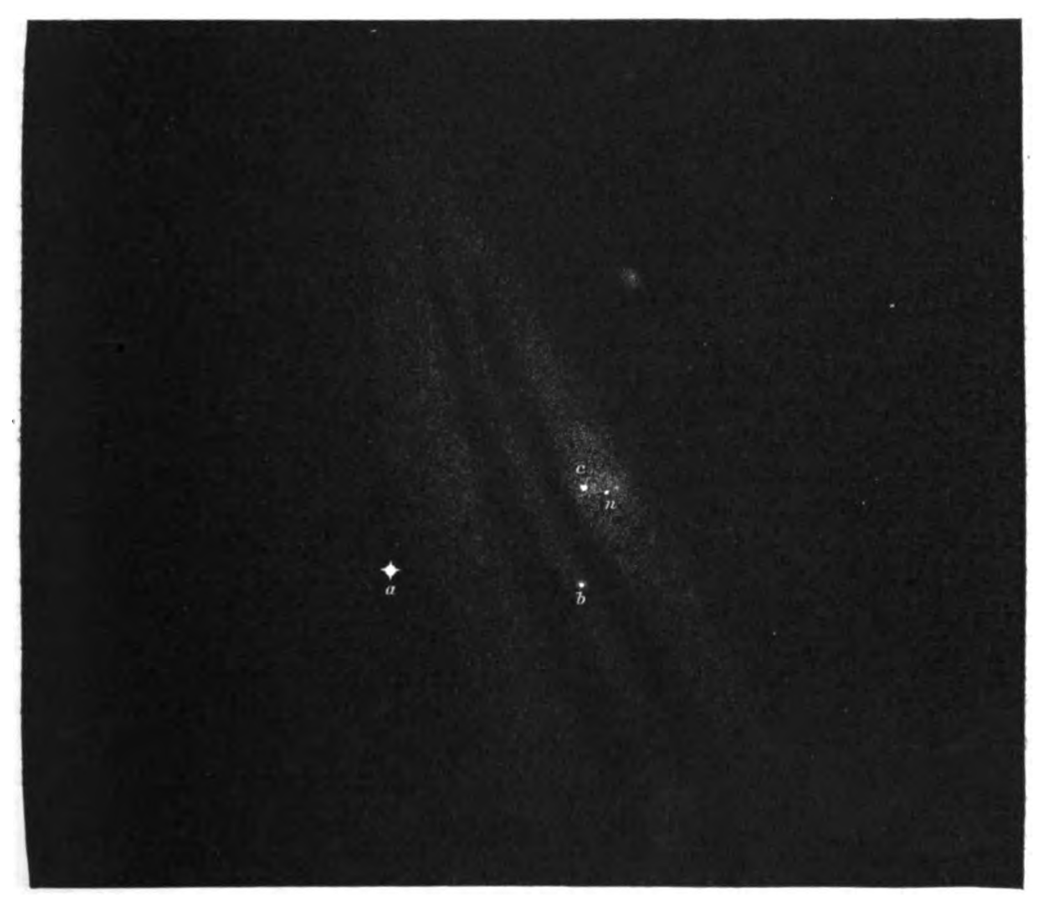
Zusammenstellung der Erscheinungen neuer Sterne seit 1572.

	Name	Äquinoktium 1900		Jahr der Erscheinung	Entdecker
1	R Cassiopejae	0h 19m 15s	+63° 35,5	1572	Tycho Brahe
2	P Cygni	20 14 6	+37 43,3	1600	Janson
3	Nova Serpentarii . . .	17 24 38	—21 23,7	1604	Brunowski
4	11 Vulpeculae	19 43 28	+27 4,2	1670	Anthelm
5	Nova Ophiuchi	16 53 54	—12 44,4	1848	Hind
6	T Scorpii	16 11 5	—22 43,6	1860	Auwers
7	T Coronae	15 55 19	+26 12,2	1866	Birmingham
8	Q Cygni	21 37 47	+42 23,1	1876	Schmidt
9	S Andromedae	0 37 18	+40 43,2	1885	Hartwig
10	V Persei	1 55 6	+56 15,0	1887	Fleming
11	T Aurigae	5 25 34	+30 22,2	1891	Anderson
12	R Normae	15 22 11	—50 13,9	1893	Fleming
13	RS Carinae	11 3 54	—61 23,6	1895	Fleming
14	Z Centauri	13 34 18	—31 8	1895	Fleming
15	Nova Sagittarii . . .	18 56 13	—13 18,2	1898	Fleming
16	Nova Aquilae	19 15 16	— 0 19,2	1899	Fleming
17	Nova Persei	3 24 24	+43 33,7	1901	Anderson
18	Nova Geminorum . .	6 37 49	+30 2,7	1903	Turner
19	Nova Aquilae Nr. 2 .	18 59 54	— 4 35	1905	Fleming

Am 12. Mai 1866 entdeckte Birmingham in Tuam um 11¾ Uhr einen Stern 2.—3. Größe in der Krone an einer Stelle, wo das Bonner Verzeichnis einen solchen von 9.—10. Größe angibt. In derselben Nacht zwischen 8 und 11 Uhr beobachtete Schmidt in Athen die nämliche Gegend, ohne etwas Auffälliges zu bemerken; er würde ein fremdes Gestirn, das heller als 5.—6. Größe gewesen wäre, sicher gesehen haben. Es folgt daraus, daß T Coronae in weniger als zwei Stunden um mindestens drei Größenklassen zugenommen hat. Er nahm sehr schnell wieder ab, so daß er bereits Ende Mai zu seiner ursprünglichen Kleinheit herabgesunken war, in der er seitdem geblieben ist. Die spektroskopischen Beobachtungen von Huggins und Miller ergaben das grundlegende Resultat, daß der Stern wie alle folgenden „Novae", mit alleiniger Ausnahme der im Andromedanebel, helle und dunkle Linien zugleich zeigte; die ersteren entsprachen teilweise denen des Wasserstoffs.

Viel eingehender konnte die Nova Cygni von 1876 in dieser Hinsicht untersucht werden, die Schmidt am 14. November als etwas rötlichen Stern 3.—4. Größe entdeckte. Dieses Gestirn nahm verhältnismäßig langsam ab; im Oktober 1877 war es noch 10. Größe,

im Februar 1878 kleiner als 11. Größe. Nach Vogels Beobachtungen erschienen im Spektrum des Sterns deutlich helle und dunkle Linien und Banden, die aber mit der Zeit sich wesentlich veränderten. Einige helle Linien, wie die des Wasserstoffs bei C, wurden allmählich schwächer und verschwanden schließlich ganz; dagegen veränderte sich die F-Linie des Wasserstoffs fast nicht. Eine andere Linie von der Wellenlänge 500 oder 501 wurde gleichzeitig immer kräftiger, bis sie die auffälligste von allen war. Sie ist identisch mit der



Andromedanebel mit dem neuen Stern (n) von 1885, nach A. Riccò. a, b, c sind drei Fixsterne. Vgl. Text, S. 408.

hellsten Linie im Spektrum der echten Nebel. Als Mittel aus den Messungen der genannten Forscher ließen sich nach Scheiner folgende helle Linien feststellen: Wellenlänge 658: Wasserstofflinie; 594: ?; 588: Heliumlinie; 581: für die Wolf-Rayet-Sterne typisch; 530: Chromosphärenlinie (Corona); 516: ?; 501: hellste Nebenlinie; 496: zweite Nebenlinie?; 485: Wasserstofflinie; 468: ?; 456: ?; 451: ?; 435: Wasserstofflinie.

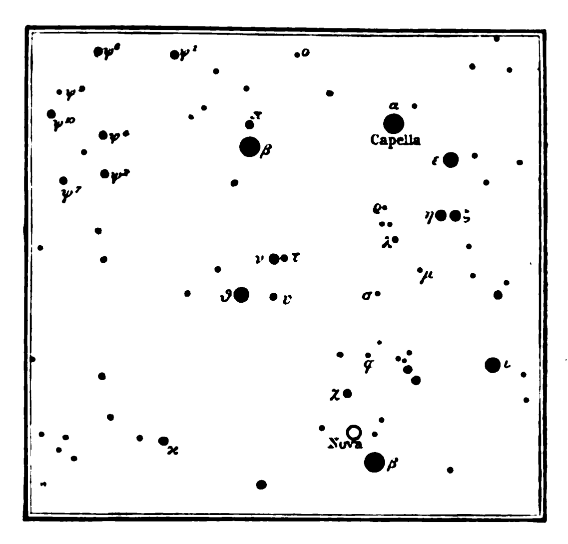
Aus der fortgesetzten Beobachtung des Spektrums ergab sich deutlich, wie das kontinuierliche Farbenband allmählich erblaßte, namentlich auf der violetten Seite, bis schließlich das Aussehen ganz dem der Nebelspektren glich. Bei diesem Stern sowie bei der Nova Coronae war also nicht mehr daran zu zweifeln, daß *glühende Gase* von der Art, wie sie in den

höchsten Schichten unserer Sonnenatmosphäre und anderseits in den Nebeln vorkommen, eine wichtige Rolle in dem geheimnisvollen Vorgange spielen müssen, durch den die sogenannten neuen Sterne für uns in die Erscheinung treten. Man stellte sich vor, daß mächtige Eruptionen glühender Gase die schon erkalteten Oberflächen dieser Gestirne durchbrächen, vielleicht veranlaßt durch den Aufsturz eines anderen dunkeln Körpers, oder auch, daß in den Atmosphären dieser Himmelskörper plötzliche chemische Vereinigungen von Gasen, wie etwa von Wasserstoff und Sauerstoff, unter gewaltigen Explosionen stattfänden.

Aber die nächste Nova zeigte ein völlig anderes Verhalten. Sie entstand mitten in dem großen Andromedanebel, der uns schon vielfach interessiert hat. Am 17. August 1885 trat nahe bei der zentralen Verdichtung des Nebels, 17 Bogensekunden nach Nordosten von der Mitte entfernt, wie es die Zeichnung auf S. 407 veranschaulicht, ein Stern 6. Größe auf, der also beinahe noch mit dem bloßen Auge sichtbar war. Am Tage vorher war hier erwiesenermaßen noch nichts Auffälliges. Wie alle anderen neuen Sterne nahm er bald an Leuchtkraft ab, doch geschah dies in immer langsamer werdendem Tempo; Anfang September war der Stern noch 8. Größe, Mitte Oktober 10., einen Monat später 11., im Januar 1886 12. Größe und ist inzwischen ganz langsam verschwunden. Da der Andromedanebel nicht zu den echten Gasnebeln gehört, sondern wenigstens in der Hauptsache ein sehr dichter Sternhaufen ist, so ist anzunehmen, daß die Nova von jeher dem Gewimmel der sich um das Zentrum des Haufens drängenden Sterne angehörte und sich nun wieder darin verloren hat. Wir haben früher schon erwähnt, daß die Veränderlichen in Sternhaufen besonders häufig sind. Hält man nun die Ursachen für die Periodizität der Veränderlichen wie für das Entstehen der neuen Sterne für verwandte, so ist es erklärlich, daß letztere gleichfalls in den Sternhaufen auftreten. Auch die Nova von 1860 befand sich in einem solchen. Da nun die ganze Milchstraße ein größerer Sternhaufen ist, so ist es außerordentlich bezeichnend, daß sämtliche neuen Sterne ohne Ausnahme nur in den auffälligsten Zügen der Milchstraße erschienen. Ganz besonders reich daran ist das Gebiet, das vom Skorpion, dem Schützen und dem Schlangenträger (Ophiuchus) eingenommen wird, wo die sich gabelnde Milchstraße ihre größte Breite hat und dadurch andeutet, daß wir uns diesem Teil ihres Zuges am nächsten befinden.

Das Spektrum des neuen Sterns im Andromedanebel wich aber wesentlich von dem der beiden vorangegangenen temporären Sterne ab; es ist namentlich von Vogel und von Maunder sorgfältig untersucht worden. Letzterer erklärt es für ein vollkommen kontinuierliches, ohne jede Spur von hellen oder dunkeln Linien. Vogel vermutete nur zeitweiliges Auftreten von hellen Linien und ist sonst in Übereinstimmung mit Maunder. Das Farbenband verblaßte allmählich mit dem Schwächerwerden des Sternes, ohne sonst Veränderungen zu zeigen. Die Spektra aller drei bis dahin untersuchten neuen Sterne wichen demnach voneinander ab: die Nova Coronae zeigte übereinstimmend mit der im Schwan ein gemischtes Spektrum aus hellen und dunkeln Linien; bei der ersteren aber herrschten anfangs die hellen Linien vor, bis das Spektrum allmählich in das gewöhnliche überging, so wie es heute noch erscheint. Der Stern ist 10. Größe geblieben. Die Nova Cygni zeigte dagegen ein umgekehrtes Verhalten: die hellen Linien traten zuerst weniger hervor und waren schließlich fast nur noch allein vorhanden, während das kontinuierliche Spektrum ganz zurücktrat. Beim neuen Stern im Andromedanebel waren helle Linien überhaupt nicht oder höchstens andeutungsweise vorhanden. Das Aufleuchten dieses Sternes ist demnach

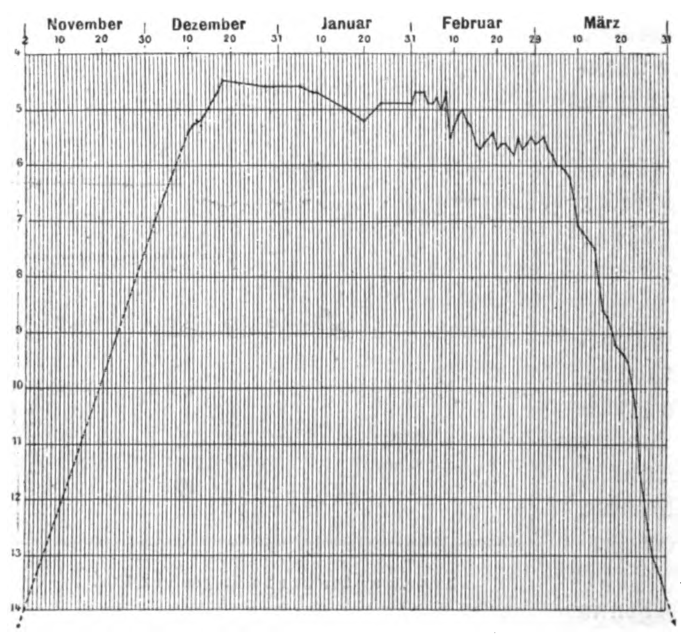
Gaseruptionen oder Explosionen in der Hauptsache nicht zuzuschreiben, wie man es bei den beiden voraufgegangenen neuen Sternen vermutet hatte. Will man dennoch für die Erklärung dieser Erscheinung Revolutionen heranziehen, die auf der Oberfläche eines erkalteten Körpers auftraten, so wäre nur an die Überflutung einer bereits erhärteten Kruste durch Ausflüsse des inneren glühenden Magmas zu denken. Diese Überflutung konnte sich über den ganzen oder einen großen Teil des Himmelskörpers ausdehnen, ohne dabei eine beträchtliche Dicke zu erreichen, weshalb auch die Erkaltung verhältnismäßig schnell wieder eintreten mußte. Seeliger ist dieser Hypothese rechnerisch näher getreten, indem er die beobachtete Gesetzlichkeit der Lichtabnahme mit den unter dieser Voraussetzung vorliegenden Forderungen der Wärmetheorie verglich, und gelangte dabei zu einem befriedigenden Resultate. Die Ursache der Überflutung wäre etwa in dem Zusammentreffen einer kleineren Masse mit dem größeren dunkleren Körper zu suchen.



Umgebung der Nova Aurigae von 1892.

Ganz neue Gesichtspunkte für unsere Anschauungen über die neuen Sterne hat indes die Nova Aurigae (Fuhrmann) von 1891/92 gebracht. Auch diese interessante Entdeckung verdankt die astronomische Wissenschaft einem Privatmanne. Die Entdeckung wurde am 1. Februar anonym gemeldet; man fand in der Tat an dem bezeichneten Orte einen Stern 5. Größe, der in keinem Verzeichnis enthalten war. Seine Lage ist in dem nebenstehenden Kärtchen veranschaulicht. Später meldete sich der Geistliche Anderson in Edinburg als Entdecker des Sterns; er hatte ihn am 23. Januar 1892 zuerst gesehen. Es stellte sich aber nachträglich heraus, daß der Stern bei seiner Entdeckung durch das leibliche Auge sein Maximum bereits überschritten hatte. Als nämlich Pickering von der Harvard-Sternwarte in Cambridge (Nordamerika) den Reichtum seiner photographischen Aufnahmen, die sonst erst nach längerer Zeit zur genaueren Durchsicht und Ausmessung gelangen, daraufhin näher ansah, fand es sich, daß der Stern vor seiner Entdeckung durch Anderson dort in Amerika bereits dreizehnmal photographiert worden war. Achtzehn weitere Photogramme, die von derselben Gegend zwischen dem 3. November 1885 und dem 2. November 1891 gemacht worden sind und die Sterne bis zur 13. Größe enthalten, zeigen dagegen keine Spur von dem neuen Gestirn. Aus den folgenden Aufnahmen ergibt sich, daß der neue Stern Anfang Dezember 1891 7. Größe war und am 7. Dezember die 6. erreichte; am 20. Dezember war er bei seinem Maximum von 4,4. Größe angelangt. Mindestens 4—5 Wochen lang war der Stern also mit bloßem Auge sichtbar, ohne entdeckt zu werden. Es ist in hohem Grade bedauerlich, daß er in jener Zeit nicht durch Okularbeobachtungen fortdauernd verfolgt werden konnte, da er gerade damals die von allen anderen neuen Sternen durchaus abweichende Erscheinung eines ziemlich langsamen

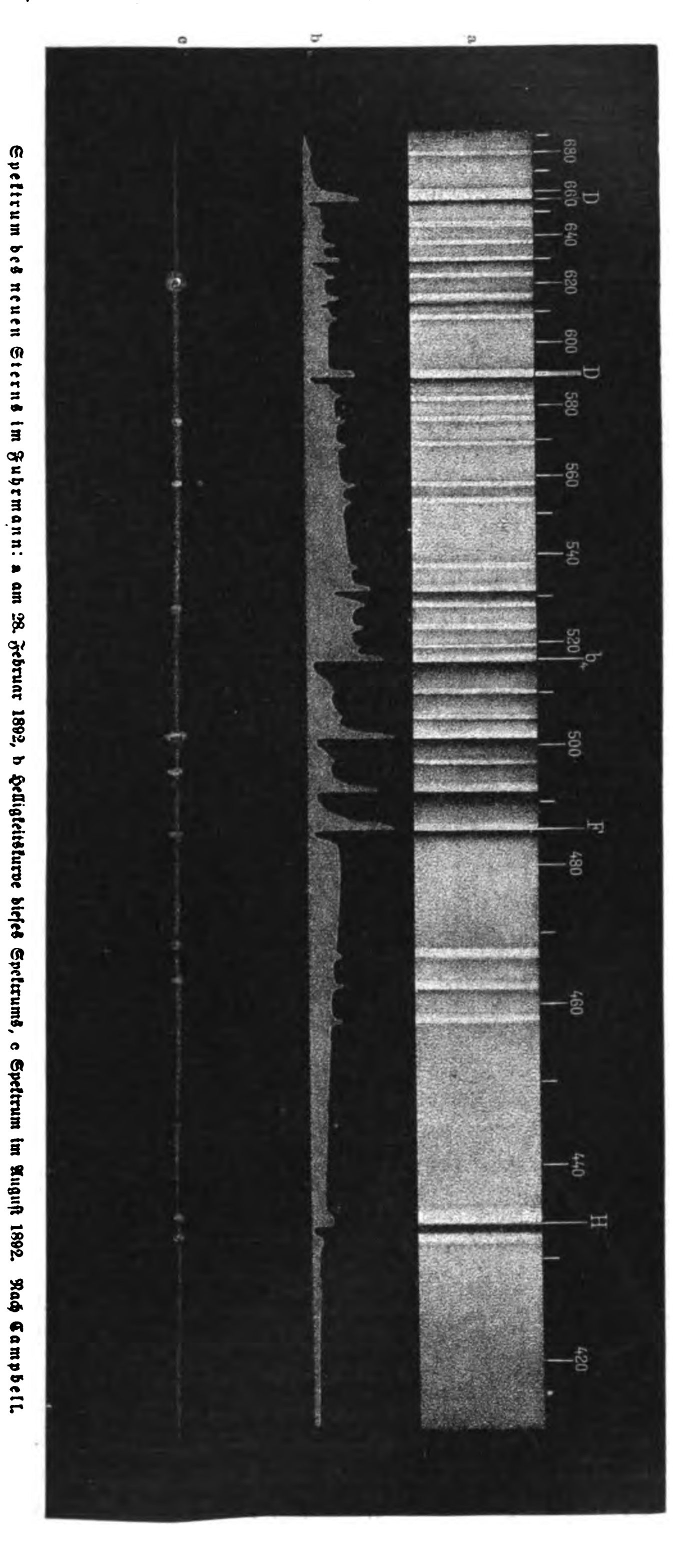
Anschwellens zeigte, dessen Einzelheiten zu erforschen für die Erkenntnis der rätselhaften Natur dieser sonst so katastrophenartigen Erscheinungen am Himmel von höchstem Wert gewesen wäre. Während alle anderen neuen Sterne ganz plötzlich erschienen und von einigen mit Sicherheit nachgewiesen werden konnte, daß sie in wenigen Stunden um mehrere Größenklassen anwuchsen, brauchte die Nova Aurigae mindestens acht Tage Zeit, um von der 8. bis zur 5. Größe anzuschwellen. Aber nicht nur in diesem aufsteigenden Teile, sondern auch im absteigenden wich die Lichtkurve des neuen Sternes von der der anderen ab: die Helligkeit verminderte sich zuerst nur wenig, schwankte aber dabei merklich auf und nieder; am 4. März war er noch 5,7. Größe, also innerhalb 2—3 Monaten um kaum mehr als eine Größenklasse heruntergegangen. Von diesem Zeitpunkt an nahm dagegen das Licht des Sternes plötzlich ganz schnell ab: am 6. März war er nur noch 6,5. Größe, am 13. 8., am 17. 9., am 23. 10. Größe u. s. f., bis er Ende April gänzlich verschwunden schien. Flammarion hat aus allen darauf bezüglichen Beobachtungen die Lichtkurve entworfen, die wir hierneben wiedergeben. Der gestrichelte Anfang der Kurve, der vor dem 10. Dezember liegt, beruht nur auf Vermutung; jedenfalls aber fand damals ein schnelles Ansteigen statt, so daß die merkwürdige und von allen sonst verwandten Sternen abweichende Übereinstimmung des aufsteigenden Astes der Kurve mit dem absteigenden nach einem ziemlich langen, aber nicht völligen Stillstande der Wirklichkeit jedenfalls nahe kommen muß.



Lichtkurve des neuen Sterns im Fuhrmann von 1891/92. Nach Flammarion.

Nachdem die Beobachter den Stern fast wieder vergessen hatten und nur noch die lebhaftesten Diskussionen über seine Natur führten, erschien er im August 1892 plötzlich wieder, und zwar als regulärer planetarischer Nebel. Barnard, der ihn am großen Lick-Refraktor beobachtete, gibt ihn als 10. Größe mit einem Durchmesser von 3″ an; jedoch sei er noch bis zu einer halben Minute Durchmesser von einem schwachen nebligen Schein umgeben gewesen. In dieser veränderten Gestalt verharrte das Gebilde monatelang fast unverändert und konnte der genauesten Untersuchung unterworfen werden: statt eines neuen Sternes hatte man einen neuen Nebel vor sich. Denn auch die spektroskopischen Beobachtungen bestätigen unzweifelhaft seine Natur als echten Gasnebel. Zur Zeit seiner Entdeckung zwar besaß das neue Gebilde auch im Spektroskop noch den Charakter eines neuen Sternes: es zeigten sich deutlich helle und dunkle Linien auf

einem kontinuierlichen Spektrum. Wir geben es hier wieder, wie es von Campbell auf der Lick-Sternwarte am 28. Februar 1892 gemessen wurde. Sofort fällt der eigentümliche Charakter des Spektrums auf, dessen helle Linien mit wenigen Ausnahmen von dunkeln unmittelbar begrenzt werden, und zwar stets auf derselben Seite, nach dem Violett hin. Es war deshalb von vornherein sicher, daß das Spektrum von zwei verschiedenen Lichtquellen herrührte, von denen die eine hauptsächlich helle, die andere dunkle Linien hervorbrachte, und daß diese gegeneinander in einer abnorm schnellen Bewegung begriffen waren. Mindestens 900 km in der Sekunde zeigten die Linienverschiebungen an; das ist mehr, als man jemals an irgend einem Himmelskörper gefunden hatte, und nur die Bewegung weniger Kometen, die fast die Sonnenoberfläche streiften, war bei diesem Vorübergange während einiger Stunden annähernd so groß (siehe Seite 214 u. f.). Auch bei diesem Stern wie bei dem von 1876 nahm nun das kontinuierliche Spektrum mit der Zeit an Intensität ab; als er dann im August als Nebel wieder erschien, war auch sein Spektrum durchaus das eines Nebels geworden, wie schon oben kurz erwähnt wurde. Hierneben (c der Abbildung) ist auch das



Spektrum des neuen Sterns im Fuhrmann: a am 28. Februar 1892, b Helligkeitskurve dieses Spektrums, c Spektrum im August 1892. Nach Campbell.

photographische Spektrum abgebildet, das Campbell um diese Zeit von dem rätselhaften Gebilde erhielt. Die Linien sind in Übereinstimmung mit denen des früher erhaltenen, nur das Farbenband und die dunkeln Linien sind gänzlich verschwunden. Eine Vergleichung der Lage dieser hellen Linien mit denen der bekannten Gasnebel, insbesondere desjenigen im Orion, ergab eine überraschende Übereinstimmung: nicht nur die bekannten vier Nebellinien, sondern noch 13 andere, die von Campbell bei der Vergleichung von fünf verschiedenen Nebeln gemessen wurden, stimmten mit solchen im Spektrum des neuen Nebels, wie man ihn nunmehr nennen mußte, überein.

Es fragte sich natürlich, wie man alle diese Tatsachen der Beobachtung deuten sollte, um ein verständliches Bild von den Vorgängen zu erhalten, die sich damals in jenen fernen Räumen des Weltgebäudes abgespielt haben. Vogel dachte zunächst an eine großartige Weltkatastrophe, deren Zeugen wir gewesen seien. Ein mächtiger dunkler Körper sollte mit furchtbarer Geschwindigkeit mitten in ein wohlgeordnetes, mehrere Planeten enthaltendes Sonnensystem eingedrungen sein und die Ordnung und Ruhe dort plötzlich vernichtet haben. Schlug der Eindringling nicht direkt auf den schon in fast erkaltetem Zustande gedachten Zentralstern, so mußte er doch im sehr nahen Vorüberfliegen durch die mächtigen Flutwirkungen, die seine große Anziehungskraft auf das noch flüssige Innere ausübte, die Kruste zertrümmern und mächtige Gaseruptionen ausbrechen lassen; diese ungeheuren, mit furchtbarer Geschwindigkeit emporgeschleuderten Protuberanzen seien dann die Erzeuger der stark verschobenen hellen Linien, während der andere Körper, gleichfalls in Glut geratend und sich mit Gasen niederer Temperatur umgebend, die dunkeln Linien hervorgebracht habe. Seeliger erhob indes gegen diese Ansicht Bedenken, die namentlich in dem Bestehenbleiben der ungeheuren Geschwindigkeit des eindringenden Körpers begründet sind, dann aber auch in dem Auf- und Niederschwanken der Helligkeit des neuen Gebildes und endlich in seinem Wiedererscheinen im August 1892. Seeliger erklärt die wahrgenommenen Erscheinungen unter jedenfalls weniger hypothetischen Annahmen durch ein Zusammentreffen eines Sonnenkörpers mit einer weitausgedehnten Nebelmasse, wie sie in jüngster Zeit namentlich durch die photographischen Aufnahmen Wolfs in Heidelberg zu unserer Kenntnis gelangt sind. Ein solches Zusammentreffen ist allerdings viel wahrscheinlicher als das eines verhältnismäßig kleinen Himmelskörpers mit einem Sonnensystem, weil eben, um es kurz zu sagen, eine größere Scheibe leichter getroffen wird als eine kleine. Da ferner die Planeten des angenommenen wie jedes anderen Sonnensystems sich aus theoretischen Gründen um eine Ebene gruppieren müssen, so wäre noch weiter vorauszusetzen, daß der Zusammenstoß ziemlich genau in der Richtung dieser Ebene stattgefunden haben müßte, damit der Körper im Vorüberfliegen zugleich mehrere Planeten in Mitleidenschaft ziehen konnte, wodurch das mehrfache Wiederaufflackern zu erklären wäre.

Seeligers Hypothese setzt dagegen nichts Außergewöhnliches voraus. Daß jene Nebelmassen, die selbst von unserem entfernten Standpunkte aus die Himmelsflächen ganzer Sternbilder einnehmen, von festeren kosmischen Massen, Sonnen oder dunkeln Körpern, die, wie wir noch näher sehen werden, ohne Ausnahme sich im Raume in fast geradlinigen Bahnen fortbewegen, verhältnismäßig häufig getroffen werden müssen, ist kaum als eine Hypothese anzusehen, sondern eine unabweisbare Notwendigkeit. Damit ist aber sofort alles übrige erklärt, was man an diesem neuen Sterne wahrgenommen hat. Selbst die abnorme Geschwindigkeit, welche die spektroskopischen Beobachtungen für die mit im Spiele befindlichen

leuchtenden Gasmassen ergaben, ist unschwer zu erklären. Der herannahende Körper, der die Absorptionslinien erzeugte, hatte dagegen keine allzugroße Geschwindigkeit. Sobald er dem Nebelgebilde entsprechend nahe kam, mußten infolge der allgemeinen Anziehungskraft die Partikelchen des letzteren, über deren ursprünglichen Aggregatzustand wir gar keine Annahme zu machen brauchen, dem Eindringling entgegenkommen, und zwar mit immer beschleunigter Geschwindigkeit, bis sie ganz in seiner Nähe eine ungeheure und zwar noch größere Beschleunigung erfahren hatten als die sonnennahen Kometen unseres Systems. Hier drängen sich die aufstürzenden Massen um den Eindringling und müssen dadurch in glühende Gase verwandelt werden, wenn sie sich nicht schon vorher in diesem Zustande befunden haben. Immer neue Massen stürzen aus der kosmischen Wolke nach und erhalten dadurch den Spektralcharakter der verschobenen Linien aufrecht. Auch die Eigentümlichkeiten der Lichtkurve sind ohne weiteres verständlich. Eine solche Nebelmasse hat keine scharfe Begrenzung, ihre äußeren Teile müssen aber notwendig weniger dicht sein als die inneren, und es dauert einige Zeit, bis der Körper in Tiefen eingedrungen ist, in denen eine ungefähr gleichmäßig dichte Verteilung der Materie stattfindet. Beim Austritt aus der Wolke fand dann naturgemäß die umgekehrte Erscheinung statt, während in der Zwischenzeit nur unbedeutende Lichtschwankungen zu bemerken waren, die infolge geringfügiger Dichtigkeitsverschiedenheiten in der Wolke unvermeidlich eintreten mußten. Aus den Gasmassen, die der Eindringling zu sich herangezogen, bezw. erst in seiner nächsten Nähe gebildet hatte, formte er sich eine glühende Gashülle, die ihn nachher als echten Nebel erscheinen ließ.

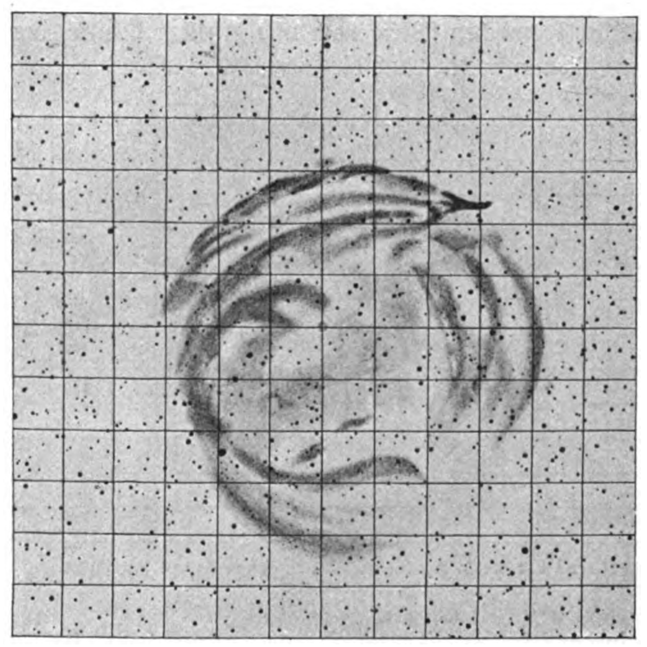


Lichtkurve der Nova Persei vom 21. Februar bis 24. Juli 1901.
Vgl. Text, S. 414.

Diese Ansicht Seeligers über die Ursache des Aufleuchtens neuer Sterne hat die wunderbare Erscheinung von 1901 im Perseus auf das glänzendste bestätigt, die allerdings gleichzeitig eine Reihe von neuen Problemen stellte, die noch keine unzweifelhafte Lösung gefunden haben.

Das Gestirn wurde am 21. Februar 1901 gegen 2 Uhr nachts von demselben Amateur der Sternkunde, Anderson in Edinburg, zuerst gesehen, dem wir auch die Entdeckung der Nova von 1892 im Fuhrmann verdanken. Der Stern war zu jener Zeit 2,7. Größe. Hartwig in Bamberg hat die Gegend wenige Stunden vorher angesehen und ist sicher, daß er einen Stern 3. Größe wahrgenommen hätte, wenn ein solcher dort sichtbar gewesen wäre. Einen Tag zuvor hat Stanley-Williams bei ³/₄stündiger Belichtung die Gegend aufgenommen, ohne daß sich an der Stelle des neuen Sterns ein verdächtiges Objekt eingezeichnet hätte. Der Stern konnte danach um diese Zeit noch nicht 12,5. Größe gewesen sein. Dasselbe bezeugt eine

Aufnahme der Harvard-Sternwarte vom 19. Februar. Der Stern war also innerhalb etwa 24 Stunden von nahezu völliger Unsichtbarkeit bis zu 2,7. Größe angeschwollen. Er nahm nun noch bis über den 23. Februar hinaus beträchtlich an Helligkeit zu. An diesem Tage war er heller als Capella, war also mit diesem Stern und Wega der hellste am ganzen nördlichen Himmel und der dritte oder vierte am Himmel überhaupt. Unter den mit Sicherheit als solchen erkannten neuen Sternen übertraf ihn nur der Tychonische von 1572. Von da an aber nahm er wieder merklich ab. Am 27. Februar war er nur noch 2., am 6. März 3., am 13. März 4. Größe. Von nun ab zeigte sich eine höchst merkwürdige und bisher an keinem andern neuen Stern beobachtete Erscheinung. Seit dem 16. März begann das Licht in ziemlich regelmäßigen Zwischenzeiten um etwa anderthalb Größenklassen auf- und abzuschwanken, wie es auch unsere Zeichnung auf S. 413 wiedergibt. Die Periode war zuerst etwa drei Tage lang und verlängerte sich bis auf fünf Tage, wurde jedoch niemals genau innegehalten. Dabei nahm die Durchschnittshelligkeit weiter langsam ab. Der Lichtwechsel erinnerte seinem Wesen nach an den der Lyrasterne. Von Mitte Juni ab wurden jedoch die Lichtschwankungen wieder ganz unregelmäßig, und vom Ende jenes Monats ab hörte das Auf- und Abschwanken gänzlich auf. Der Stern blieb eine ganze Weile hindurch fast konstant auf 6. Größe stehen und hat seitdem langsam beständig abgenommen bis zur 10. bis 11. Größe, in der er noch gegenwärtig (1907) sichtbar ist. Die Farbe des neuen Sternes war anfangs rein weiß, ging dann bald ins gelbliche über und schwankte mit seiner Helligkeit zwischen weißlich-gelb und rötlich, so wie es ein sich abwechselnd erhitzender und wieder abkühlender Körper tun würde.



Der Nebel um Nova Persei am 20. September 1901. Nach G. W. Ritchey. Vgl. Text, S. 415.

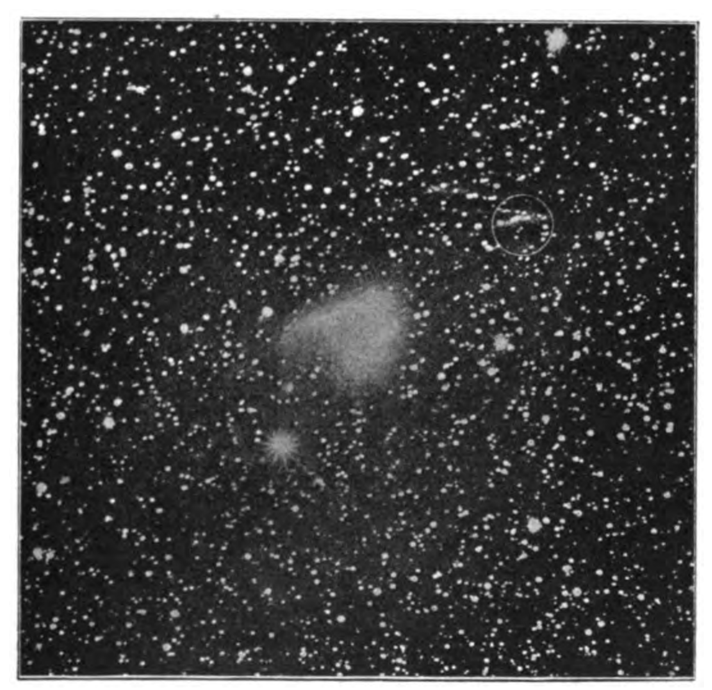
Sehr merkwürdig erwies sich auch das spektroskopische Verhalten des Gestirns. In den ersten Tagen seiner größten Helligkeit war man sehr erstaunt, daß das Spektrum fast gar keine Einzelheiten zeigte. Es war ein fast ununterbrochenes kontinuierliches Farbenband. Am 22. Februar sah man auf dem Harvard-Observatorium in diesem Spektrum nur ganz schwach 25 dunkle Linien angedeutet. Hierdurch unterschied es sich völlig von dem aller anderen bisher beobachteten Spektren neuer Sterne. Aber am 25. Februar hatte sich das Spektrum plötzlich völlig verändert und glich nun durchaus dem des neuen Sternes im Fuhrmann, das wir S. 411 abgebildet haben. Es war also von vielen hellen Linien durchzogen, denen dunkle Linien oder Banden unmittelbar anlagerten. Man konnte hieraus

schließen, daß man es mit mindestens zwei Körpern zu tun hatte, von denen der eine sich nach den Potsdamer Beobachtungen um etwa 18 km in der Sekunde von uns entfernte, während der andere sich mit der enormen Geschwindigkeit von 717 km uns näherte. Der erstere Körper mußte ähnlich wie unsere Sonne eine absorbierende Atmosphäre namentlich aus Kalziumdampf besitzen, während der andere hauptsächlich aus glühendem, selbstleuchtendem Wasserstoff bestand. Vom 19. März ab, als jene eigentümlichen Lichtfluktuationen eingetreten waren, wurde das Spektrum wieder anders. Die dunkeln Linien verschwanden, und das kontinuierliche Spektrum blaßte fast zur Unkenntlichkeit ab. Es blieben also hauptsächlich nur die hellen Linien übrig. Diese Veränderung schwankte wieder mit dem Lichtwechsel, bis am 19. Juni das Spektrum völlig dem eines Gasnebels glich, in welchem Zustande es verharrte.



Der Nebel um Nova Persei am 7. und 8. Nov. 1901. Aufnahme der Lick-Sternwarte.

Ende August nun entdeckte man auf photographischen Aufnahmen, daß der erblassende Stern sich inzwischen mit Nebelringen oder spiralförmig gewundener Nebelmaterie umgeben hatte, die die wunderbarsten und rätselhaftesten Einzelheiten zeigte. Wir geben Seite 414 eine Zeichnung



Der Nebel um Nova Persei am 31. Januar und 2. Februar 1902. Aufnahme der Lick-Sternwarte. Vgl. Text, S. 416.

derselben, die nach der Aufnahme von Ritchey vom 20. September 1901 hergestellt ist und die Einzelheiten verstärkt wiedergibt. Daneben bilden wir (S. 415) zwei Aufnahmen der Lick-Sternwarte vom 7. und 8. November 1901 und vom 31. Januar und 2. Februar 1902 ab, die erste mit $7^h 19^m$, die zweite mit $9^h 45^m$ Belichtungszeit hergestellt.

Man beachte den nasenförmigen Vorsprung an dem Nebelgebilde rechts oben, den wir auf den beiden letzteren Aufnahmen mit einem Kreise umgeben haben. Bei der Aufnahme vom September sehen wir ein Sternchen oberhalb und einen kleinen Doppelstern unterhalb. Auf dem Bilde vom November ist die „Nase" bereits ein wenig weiter durch jene Konstellation hinausgeschlüpft, nur noch ein Anhängsel liegt zwischen den Sternen. Noch weiter hat sich das Wölkchen bei der dritten Aufnahme von Ende Januar 1902 entfernt. Bestimmt man mit diesen drei Aufnahmen die scheinbare Geschwindigkeit der Fortbewegung dieses und anderer noch zu unterscheidenden Lichtknoten in dem Nebel, so ergibt sich, daß sie etwa am 17. Februar, also zur Zeit der Katastrophe, den Zentralstern verlassen haben mußten. Man konnte deshalb zunächst nichts anderes annehmen, als diese leuchtenden Massen seien bei dem furchtbaren Zusammenstoß, dem man das Aufleuchten des Sternes zuschrieb, von ihm in den Weltraum hinausgeworfen worden, ungeheuren Protuberanzen nicht unähnlich.

Aber man fand nun, daß der neue Stern so weit von uns entfernt sein müsse, daß die auf den Platten gemessenen scheinbaren Geschwindigkeiten zu wahren Geschwindigkeiten führten, die der des Lichts entsprachen. Bergstrand hat auf photographischem Wege die Parallaxe der Nova gleich 0,026 Bogensekunden gefunden. So klein erscheint also nur unsere Entfernung von der Sonne von jenem Stern gesehen. Auf unserer Darstellung Seite 414 sind Quadrate eingezeichnet, die je zwei Bogenminuten Seitenlänge haben. In jeder solchen Länge ist demnach die Sonnenentfernung schon 4600mal enthalten, oder 150 Sonnensysteme bis zum Neptun hätten, nebeneinandergereiht, zwischen zwei Linien unserer Zeichnung Platz. Das Licht braucht ungefähr einen Monat, um diese Strecke zu durchlaufen.

Unter solchen Umständen konnte die Meinung, diese Lichtknoten und der ganze Nebel sei bei jener Weltkatastrophe aus dem Zentralstern hervorgeschleudert worden, nicht mehr aufrecht erhalten werden, solange man voraussetzen mußte, daß die ausgeworfene Materie den bis dahin bekannten wägbaren Stoffen vergleichbar sei, denn solche konnten so ungeheure Geschwindigkeiten niemals erreichen. Seeliger vertrat auch durch eingehende theoretische Erörterungen die Ansicht, man habe es hier nur mit der Ausbreitung von Lichtwellen in einer schon vorher den Stern umgebenden, an sich dunkeln „Staubwolke" zu tun. Der gleichfalls vorher dunkle Körper des Sternes sei, der vorhin erwähnten Meteorhypothese entsprechend, in diese Wolke eingedrungen, die man sich mit Materie in allen Größenverhältnissen, von wirklichem allerkleinsten Staub bis zu sonnengroßen Massen angefüllt denken kann. Durch den Aufsturz dieser Massen sei der eindringende Körper selbst glühend geworden, dadurch zuerst das kontinuierliche Spektrum mit nur wenigen Linien erzeugend. Der Aufsturz der kleineren Massen, der mit schnell wachsender Geschwindigkeit erfolgte, habe nun aber bald deren Vergasung verursacht, wodurch die hellen Linien entstanden, die im Gegensatze zu dem anderen Körper eine große Geschwindigkeit verrieten. Dieser Aufsturz ungleich verteilter Massen der kosmischen Wolke erzeugte eine Wirbelbewegung, die sich durch das periodische Aufflackern des Sternes im Mai und Juni verriet. Die ungeheure Lichtmenge, die sich während der eigentlichen Katastrophe entwickelte, beleuchtete nun, nach und nach in die an sich dunkle Staubwolke vordringend, immer entferntere Teile derselben

und erweckte so den Anschein, als hätten sich diese Teile in Wirklichkeit mit Lichtgeschwindigkeit vom zentralen Sterne ausgebreitet.

Diese Ansicht hat wohl die meisten Anhänger gefunden, wenngleich sie nicht unbestritten blieb. Jene „Nase" zum Beispiel behielt während ihrer Wanderung zu sehr ihre Gestalt bei, als daß man recht daran glauben könnte, man habe es mit stets verschiedener Materie zu tun, die von dem sich ausbreitenden Lichte getroffen wurde. Auch fand die Bewegung nicht genau von dem Sterne weg statt, sondern etwas spiralig abgelenkt.

Seit die wunderbaren Eigenschaften der radioaktiven Substanzen entdeckt wurden, scheint es dem Verfasser keine Schwierigkeit mehr zu haben, wirklich an die Ausbreitung einer „Emanation" zu glauben, wie sie, wenn auch in äußerst schwachem Maße, selbst von der Erde und höchstwahrscheinlich (s. S. 308) auch von der Sonne ausgeht. Es ist nachgewiesen, daß im Erdinneren verhältnismäßig große Mengen radioaktiver Substanzen vorhanden sein müssen. Ist dies auch bei den anderen Himmelskörpern der Fall, so kann man es sich wohl vorstellen, daß bei einer so gewaltigen Katastrophe, wie sie unter allen Umständen beim Erscheinen eines neuen Sternes vorliegt, größere Mengen von einer solchen „Emanation", die ja erwiesenermaßen mit Lichtgeschwindigkeit fortschreitet, in den Raum ausgebreitet werden, die uns dann als leuchtender Nebel erscheinen. Diese Ansicht von einer leuchtenden Emanation kommt im Grunde auf dasselbe hinaus wie die Seeligersche von einem wiederholten Lichtauswurf, der sich über schon vorhandene Materie verbreitete. Nur trägt erstere dem Fortschreiten der Lichtknoten Rechnung. Selbstverständlich bleibt die Möglichkeit, ja Wahrscheinlichkeit, daß jene kosmische Wolke schon vorher vorhanden war, bestehen. Die radioaktiven Emanationen haben ja bekanntlich die Eigenschaft, sehr fein verteilte Materie zum Selbstleuchten zu bringen. Es können also sehr wohl beide Wirkungen, die der direkten Lichtausbreitung und der radioaktiven Emanation allerkleinster Materieteilchen, an der Erzeugung der wunderbaren Erscheinung beteiligt gewesen sein, wie es sogar für das Leuchten aller Gasnebel wahrscheinlich ist. Zu diesen Schlüssen gelangt auch ungefähr eine neuerdings (1906) erschienene ausführliche Abhandlung über die Nova von Kopff, einem Mitarbeiter Wolfs am Heidelberger Observatorium. Es werden darin alle vorhandenen photographischen Aufnahmen einer Vergleichung unterzogen, die unzweifelhaft ergibt, daß verschiedene Teile des Nebels verschiedenartige Bewegungen und Helligkeitsschwankungen erfuhren. Eine kritische Sonderung aller Hypothesen über die Erscheinungen des Nebels führen zu der Überzeugung, daß keine von allen den verwickelten Erscheinungen genügt, es aber am wahrscheinlichsten ist, daß Nebelmaterie schon vor der Katastrophe den Stern umgab, von dem dann eine „Emanation" von verschiedener Geschwindigkeit (wie sie auch das Radium aufweist) ausging, die teils selbstleuchtend erschien, teils die vorhandenen Nebelmassen zum Selbstleuchten brachte.

Jedenfalls aber hatten wir es hier mit einer Weltkatastrophe von einer Kraft und Ausdehnung zu tun, wie sie in unserer Kenntnis einzig dasteht.

Fassen wir die Erscheinungen und Gedanken zusammen, die wir über die neuen und die veränderlichen Sterne gesammelt haben, so fällt uns bei den ersteren zunächst der nicht abzuweisende katastrophenhafte Charakter auf. Würde in unserem Sonnensystem irgendein Etwas plötzlich in dem hundert- und tausendfachen Glanze aufleuchten, den augenblicklich unser Tagesgestirn entwickelt, so wäre dies zweifellos gleichbedeutend mit dem Untergang alles Lebendigen in ihrem schönen Reiche. Denn wenn wir uns auch vielleicht

gegen die plötzlich ins scheinbar Unermeßliche zunehmende Lichtfülle zu schützen wissen würden, so ist ihre Entwickelung (wenn wir von den schwachen Wirkungen der Phosphoreszenz u. s. w. absehen) doch physikalisch nicht anders als mit einer entsprechend großen Wärmezunahme verbunden zu denken, und diese müßte für uns zum unentrinnbaren Verderben werden. Welche Erklärungsversuche wir deshalb auch für das Aufleuchten der neuen Sterne herbeiziehen mögen, niemals ist die Gewißheit zu erschüttern, daß diese aufflammenden Sterne die Todesfackeln einer untergehenden Welt bedeuten. Mögen nun plötzlich und ohne erkennbaren äußeren Anlaß ungewöhnlich große Gaseruptionen auf dem betreffenden Zentralgestirne stattgefunden haben, oder mag dieses plötzliche Aufleuchten eine Folge des Eindringens eines fremden Körpers, eines ungeheuern Meteoriten, in das System gewesen sein, oder mag endlich die Erhitzung durch das Eintauchen in eine ungewöhnliche dichte Wolke von Sternschnuppen oder einen Nebel verursacht sein, immer bleibt das Resultat das gleiche: die Zerstörung einer Welt.

Glücklicherweise sehen wir zugleich, daß diese Katastrophen am Himmel äußerst selten sind: unter hunderttausenden von Sternen, die wir gegenwärtig recht genau überwachen, zeigt kaum einer im Jahrzehnt einmal einen solchen Anfall von etwas größerer Ausdehnung. Wir dürfen deshalb rückschließen, daß ein Stern in Hunderttausenden von Jahrzehnten kaum einmal in eine gleiche Lage versetzt wird. Die Unmöglichkeit eines solchen Schicksals aber kann von vornherein für keinen der Sterne des Firmamentes, wie ewig sie auch zu sein scheinen, auch für unsere Sonne nicht, erwiesen werden. Die Ursachen der großen Klimaschwankungen, denen in den geologischen Zeitaltern unsere Erde ausgesetzt war, sind noch immer nicht mit auch nur einiger Wahrscheinlichkeit erkannt. Man hat unter anderen eine schwankende Temperatur des Weltraumes, den unser Sonnensystem zu durchlaufen hat, zur Erklärung jener rätselhaften Tatsache herbeigezogen. Es ist sehr wohl denkbar, daß infolge einer ungleichen Erfüllung des Weltraums mit kosmischem Staub und Meteoriten das Eindringen des Systems in eine solche Wolke, das nach Seeliger das Auftreten der Nova Aurigae oder nach Lockyer die Erscheinungen der Sterne vom Mira-Typus erklärt, eine Temperaturerhöhung, zwar nicht des Weltraums, aber der ihn durchfliegenden Weltkörper, verursacht hat. Wenn uns bis heute eigentliche Katastrophen erspart worden sind, so mag dies darin seinen Grund haben, daß die inneren Räume des großen Milchstraßensternhaufens von nicht verdichteter Materie schon mehr gesäubert zu sein scheinen, daß hier also bereits mehr Ordnung herrscht als in den äußeren Gebieten des galaktischen Sternzuges, in dem sich nicht nur die Sterne dichter drängen, sondern auch die echten Gasnebel. Rings um uns her ist die Materie zu unserem Vorteil recht spärlich verteilt; die Sonnen befinden sich in verschwenderisch groß erscheinenden Abständen voneinander und können sich deshalb ungestört zu schönster Ordnung entwickeln. Anders in jenen äußeren Gebieten und in den dichten Sternhaufen; dort ist der wilde Kampf ums Dasein, den die Weltkörper ebenso und unerbittlicher als die lebenden Wesen gegeneinander führen, noch heiß entbrannt, bis sie durch immer weiter fortschreitende Vereinigung der ihre Bewegung, ihre Entwickelung hemmenden Massen sich genügenden Raum geschafft haben. Deshalb sehen wir in den Sternhaufen die meisten Veränderlichen, deshalb leuchteten bereits in zwei von ihnen neue Sterne auf, deshalb erschienen alle temporären Sterne innerhalb des leuchtenden Gürtels der Milchstraße, deshalb werden unsere friedlicheren Gebiete des Weltreiches von solchen Vernichtungskämpfen der Weltkörper gegeneinander hoffentlich für alle Zukunft verschont bleiben.

Wir glauben auch zu dieser Vervollständigung des Entwickelungsgedankens der Weltsysteme, den wir bei Gelegenheit unserer Betrachtungen über die Nebelflecke zuerst auffaßten, und der uns nun bis zum Untergange von Welten führte, ohne vorgefaßte Ansicht nur durch das Bestreben nach der Auffindung einer möglichst einfachen Erklärung des direkt Gesehenen hingeleitet worden zu sein. Die veränderlichen und neuen Sterne stellen den Abschluß dieser Entwickelungsreihe dar. Als wir, das Sonnensystem verlassend, uns in das unendlich viel weitere Gebiet der anderen Sonnen begaben, fanden wir dort eigentümliche Gebilde, die ungeheure Räume mit leuchtender, vielfach gasförmiger Materie ausfüllten, und deren vielartige Gestalten auf ihre allmähliche Verdichtung und ihre schließliche Zergliederung in einzelne Sterne hindeuteten. Ebenso schlossen wir von einigen derselben, daß sie aus irgendeinem Anlaß in drehende Bewegung geraten sein müßten. Es fiel uns bei dieser Gelegenheit auf, daß viele dieser Spiralnebel von einem kleinen Nebel begleitet werden, dessen Zusammentreffen mit dem größeren wohl die Drehung verursacht haben könnte. Im gegenwärtigen Kapitel erfuhren wir hierzu ergänzend, daß solche Zusammenstöße von Weltkörpern, wenn auch selten, so doch gelegentlich stattfinden. Weiter zeigte uns die spektroskopische Reihung der Gestirne, daß sie verschieden heiß sein müssen, und daß die heißesten jene sind, die sich dem Charakter der Nebel am meisten nähern. Im Zusammenhang mit der allmählichen Verdichtung dieser letzteren und der Notwendigkeit großer, wenn auch vielleicht sehr allmählicher Hitzeentwickelung bei diesem Prozesse sahen wir nun aus den Nebeln Sonnensysteme entstehen.

Die Doppelsterne und namentlich gewisse Typen der veränderlichen Sterne haben uns dann weiter manche Einzelheiten aufgedeckt, die keinen Zweifel darüber ließen, daß jene Sonnensysteme dem unsrigen teilweise verwandt sind. Soweit wir die Sonnenbegleiter überhaupt sehen konnten, hatten sie Umlaufszeiten, die denen unserer Planeten vergleichbar sind; andere wurden uns durch die von ihnen verursachten Verfinsterungen verraten. Lage und Bewegung dieser Körper waren allerdings wesentlich von den Verhältnissen in unserem System verschieden, sie stellten aber als dunkle Körper die Bildung von Planeten auch in den allerfernsten Regionen des Weltgebäudes sicher. Andere veränderliche Gestirne berichteten uns entweder etwas von Fleckenperioden, denen auch die Sonnen anderer Weltsysteme unterworfen sind, oder von Erkaltungsprozessen ähnlich denen, die unsere Erde einstmals durchgemacht haben muß, und denen auch unser Zentralgestirn entgegengeht. Fügen wir nun noch hinzu, daß wir selbst Spuren von Meteoritenschwärmen entdeckten, deren nicht unwichtige Rolle im Getriebe des Weltgeschehens wir erkannten, so müssen wir gestehen, daß man aus dem bloßen Anblick der Gestirne und ihrer spektroskopischen Untersuchung bei den ungeheuern Entfernungen, die uns von ihnen trennen, kaum jemals mehr Verwandtschaftliches an ihnen zu entdecken hoffen könnte. Endlich gelangten wir bei den neuen Sternen zu einer Art von Abschluß dieses Entwickelungsganges: bereits erkaltete Welten gingen unter, sie gerieten ins Glühen, also zurück in eine jüngere Entwickelungsphase; zwei dieser Körper sahen wir sogar wieder zu Nebeln werden, und wir könnten uns wohl denken, daß sie nun imstande seien, den ganzen Kreislauf einer Weltenschöpfung noch einmal zu durchleben.

Wir müssen hier vorläufig Halt machen, bis wir in den Bewegungen der Himmelskörper tiefer liegende Beweisgründe für eine weitere Verfolgung des großen Entwickelungsgedankens gefunden haben werden.

II. Die Bewegungen der Himmelskörper.

1. Die astronomischen Meßwerkzeuge.

Um die Bewegungen der Himmelskörper zu ermitteln, wie sie von der Erde aus als einer festen Grundlage für unsere Messungen erscheinen, brauchen wir zwei verschiedene Arten von Werkzeugen: die einen sollen uns den Weg finden lassen, den ein Körper in seinem Laufe zunächst nur scheinbar, d. h. für unseren Standpunkt, zurücklegt, die anderen die Zeit, in der dieses Wegstück durchlaufen wurde. Wir brauchen Wegmeßinstrumente und Zeitmesser.

Um uns über die Art der Bewegungen, zu deren Studium die Wegmeßinstrumente dienen, zu orientieren, wenden wir uns der Sonne zu. Zum Verfolgen ihrer Bewegungen kann man sich mit einiger Genauigkeit der Schatten bedienen, die sie wirft. Die großen Obelisken, welche die Ägypter auf den freien Plätzen vor ihren Tempeln (s. die beigeheftete farbige Tafel) aufstellten, dienten in erster Linie der Sonnenbeobachtung durch Messung der Länge ihrer Schatten zu den verschiedenen Tageszeiten. In den Sternwarten der Babylonier errichtete man sogenannte Gnomone, meist hohe Säulen, an deren Spitze eine mit einem Loch versehene Scheibe angebracht war, so daß der durch dieses Loch auf eine horizontale Ebene fallende Sonnenstrahl den Stand der Sonne erkennen ließ. Viele unserer Kirchen sind noch heute mit einer solchen Öffnung versehen, die zu Beobachtungen über den Stand der Sonne diente. Die auf Seite 421 abgebildete Ansicht einer indischen Sternwarte zeigt eine Anzahl eigentümlicher Bauwerke, die gleichfalls der Schattenbeobachtung der Sonne, teilweise auch der Beobachtung anderer Gestirne dienten. Sie bestehen alle aus einer geraden Mauer mit verschieden schräg ansteigendem Rand. Ein gemauerter Kreisabschnitt umgibt sie, auf dem die Lage des Schattens des Mauerrandes gemessen wird, um dadurch die Höhe des Gestirns über dem Horizonte zu ermitteln.

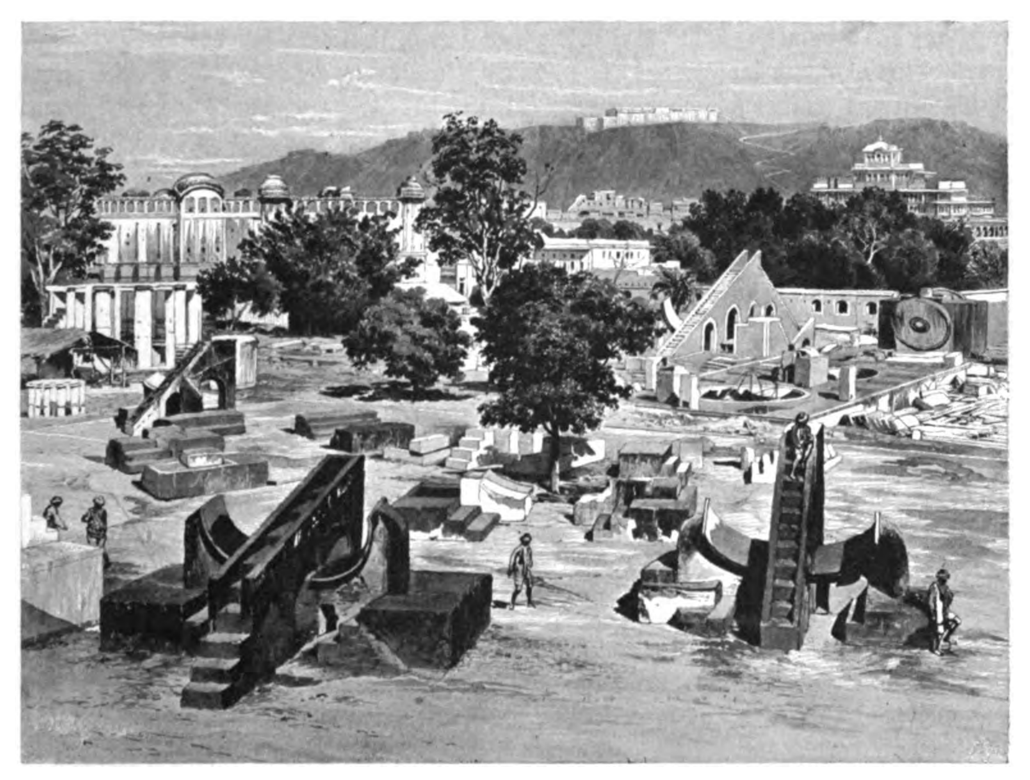
Wenn wir die Angaben eines Gnomon verfolgen, so machen wir zunächst die Wahrnehmung, daß die Sonne von Aufgang zu Untergang ein Stück des großen Bogens beschreibt, der genau in der Mitte der zum Durchlaufen des Bogens verwendeten Zeit seinen höchsten Punkt erreicht. Messen wir zu einer beliebigen Zeit am Vormittag die Schattenlänge und warten nun ab, bis sie am Nachmittage wieder dieselbe Länge hat, und haben wir zugleich die Richtungen dieser beiden Schatten auf einer horizontalen Fläche verzeichnet, so wird immer in der Richtung der Halbierungslinie des Winkels zwischen diesen beiden Schattenwürfen der kürzeste Schatten an diesem Tage stattgefunden, die Sonne also am höchsten gestanden haben. Die Richtung, in welcher der kürzeste Schatten gemessen wird, bleibt immer



ALTÄGYPTISCHE LANDSCHAFT MIT SÜDLICHEM STERNENHIMMEL.

Nach einem Aquarell von *Peter Schnorr.*

die nämliche, es sei denn, daß wir uns von der nördlichen auf die südliche Erdhalbkugel begeben, wo der Mittagsschatten genau in die umgekehrte Richtung fällt. Diese Richtung der *Mittagslinie* zeigt also für jeden Punkt der Erde, den wir zur Beobachtung der himmlischen Bewegungen auswählen, eine feste Himmelsrichtung an. Da, wo sie den scheinbaren Horizont trifft, haben wir den *Nord-*, bezw. *Südpunkt*; sehen wir vom Südpunkte senkrecht am Himmelsgewölbe empor, so treffen wir also um Mittag hier immer die Sonne, wenn auch in einer stets wechselnden Höhe, an.



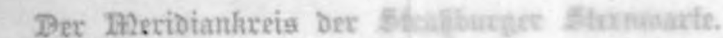
Indische Sternwarte. Nach Photographie von Dr. H. Boeck. Vgl. Text, S. 420.

Aus dem Gnomon, der in Verbindung mit der ein für allemal durch seinen Fuß über die horizontale Ebene gezogenen Mittagslinie genügt, um die Eigentümlichkeiten der Sonnenbewegung zu studieren, ist später der *Mauerquadrant* entstanden. Die Abbildung auf Seite 423 stellt den Quadranten von Tycho Brahe dar, mit dem der eifrige Beobachter viele der Messungen anstellte, die seinem Schüler Kepler später zu der großen Entdeckung der Gesetze der Planetenbewegung verhalfen. Die Stelle der Säule des Gnomon vertritt hier eine Wand, in der sich die Öffnung A befindet. Die Wand steht im rechten Winkel zu einer anderen, die genau in der Richtung der Mittagslinie aufgeführt ist, und an dieser ist ein großer Viertelkreis (Quadrant) angebracht, der wie üblich in 90 Grade eingeteilt ist. Ganz oben, gerade der Öffnung A wagerecht gegenüber, bei C, beginnt die Teilung mit 0 Grad, und bei B senkrecht unter der Öffnung endigt sie mit 90 Grad. An dem Quadranten, von oben bis unten verschiebbar, befinden sich ein oder mehrere sogenannte Diopter, D und E:

undurchsichtige, mit einem kleinen Loche versehene Scheiben. Fällt nun ein Sonnenstrahl von A aus durch dieses Diopterloch, so passiert die Sonne offenbar um diese Zeit die Mittagslinie, da das Diopter in dieser aufgestellt ist. Die Lage des Diopters zur Gradteilung des Quadranten gibt dann zugleich die Mittagshöhe der Sonne an. Dadurch ist die Lage des Gestirns zu festen Punkten der Erdoberfläche genau bestimmt. Wie wir später sehen werden, erreichen alle Gestirne in ihrer täglichen Bewegung ihren höchsten Stand (Kulmination) in der Richtung der Mittagslinie. Diese Richtung, vom Südpunkte des Horizontes über den Scheitelpunkt (Zenit) gerade über unserem Haupte nach dem Nordpunkt im Halbkreis auf das Himmelsgewölbe übertragen, nennt man den Meridian des Beobachtungsortes. Mißt man nun zur Zeit des Meridiandurchganges die Höhe eines Gestirns in Graden mit dem Mauerquadranten, so hat man für diese Zeit seine Lage am Himmel in bezug auf einen Punkt der Erdoberfläche festgelegt. Man kann den Punkt des Himmelsgewölbes zu allen Zeiten wieder angeben, an dem sich der betreffende Himmelskörper eine bestimmte Anzahl von Tagen, Jahren &c. vorher befand. Darauf aber kommt es uns für unsere Untersuchungen im wesentlichen an.

Nachdem die optischen Gläser erfunden worden waren, bildete sich der Mauerquadrant allmählich zum Meridiankreis aus, dem feinsten Instrument für sogenannte absolute Messungen am Himmel. Der am meisten ins Auge springende Teil des Meridiankreises ist das Fernrohr, obgleich es für die Messungen nur die verhältnismäßig untergeordnete Aufgabe hat, durch seine Vergrößerung auch die scheinbare Bewegung der Objekte zu vergrößern, damit man den Moment ihres Durchganges durch den Meridian mit vermehrter Sicherheit aufzufassen vermag. Im wesentlichen vertritt das Fernrohr hier nur die Stelle des Diopters beim Mauerquadranten. Selbstverständlich kommt hinzu, daß man mit dem Fernrohr Gegenstände noch sehen und messen kann, die dem bloßen Diopter unzugänglich bleiben. Dieses Fernrohr wird so aufgestellt, daß ein Stern, der gerade durch den Meridian geht, seinen Lichtstrahl mitten durch das Fernrohr schickt. Um dies für jeden Stern, der in einer beliebigen Höhe über dem Horizonte kulminiert, möglich zu machen, ist das Fernrohr in der Mitte seiner Längs- (optischen) Achse mit einer dazu senkrechten Achse versehen, die horizontal auf zwei Pfeilern gelagert wird, so daß sich die optische Achse um die letztere drehen kann.

In unserer Abbildung des Straßburger Meridiankreises (s. die beigeheftete Tafel) ist das Fernrohr mit seiner optischen Achse O O′ nach unten gerichtet; die Horizontalachse geht von A bis A′. Um im Fernrohr einen Fixpunkt zu gewinnen, auf den alle Messungen zu beziehen sind, hat man gleich hinter dem Okular O′ an der Stelle, wo das Objektiv O das Bild des Gestirns entwirft, das mit dem Okular vergrößert angesehen wird, Spinnfäden ausgespannt, zwei in horizontaler Richtung ganz nahe nebeneinander, zwischen denen der Stern, der beim Meridiandurchgang immer horizontal läuft, eingestellt wird. Senkrecht dazu ist ein ganzes System von Fäden gezogen, das sich symmetrisch um einen mittelsten gruppiert. Es wird nun eine derartige Stellung des Fernrohres angestrebt, daß dieser Mittelfaden mit dem Meridian zusammenfällt. Soll dies in allen Lagen möglich sein, so muß, da die Meridianebene senkrecht auf dem Horizonte steht, zunächst dafür gesorgt werden, daß die Achse A A′ genau horizontal liegt. Zur Prüfung hängt man ein Niveau (Libelle) P an die Achse. Da, wo die Luftblase über der Flüssigkeit spielt, ist die leicht gebogene Glasröhre mit einer Teilung versehen, die vorher ihrem Winkelwerte nach genau bestimmt worden ist. Die Blase wird niemals ganz genau in der Mitte einspielen. Man liest ab, an welchen

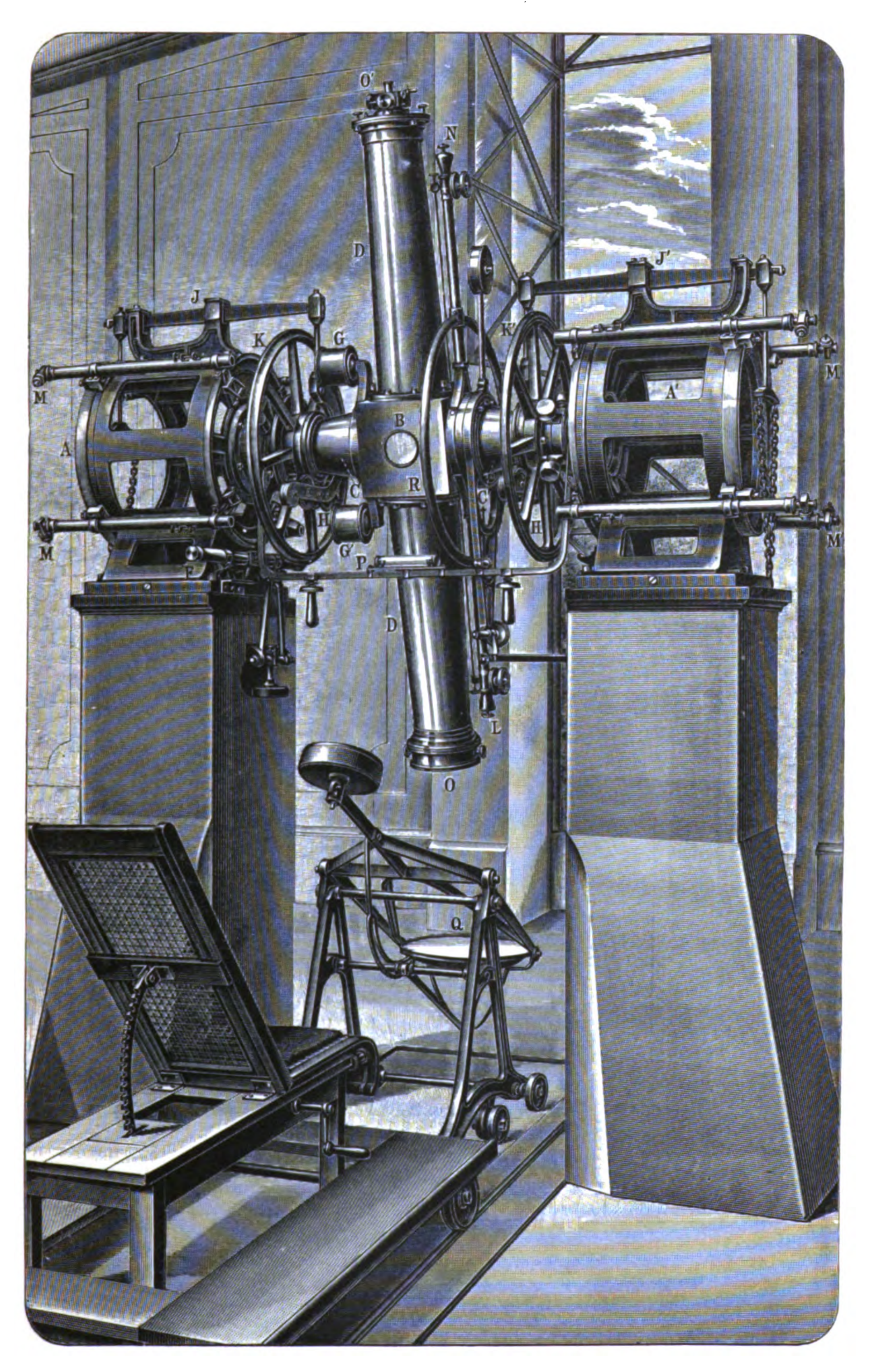


Der Meridiankreis der Straßburger Sternwarte.

Meridiankreis der Straßburger Sternwarte.

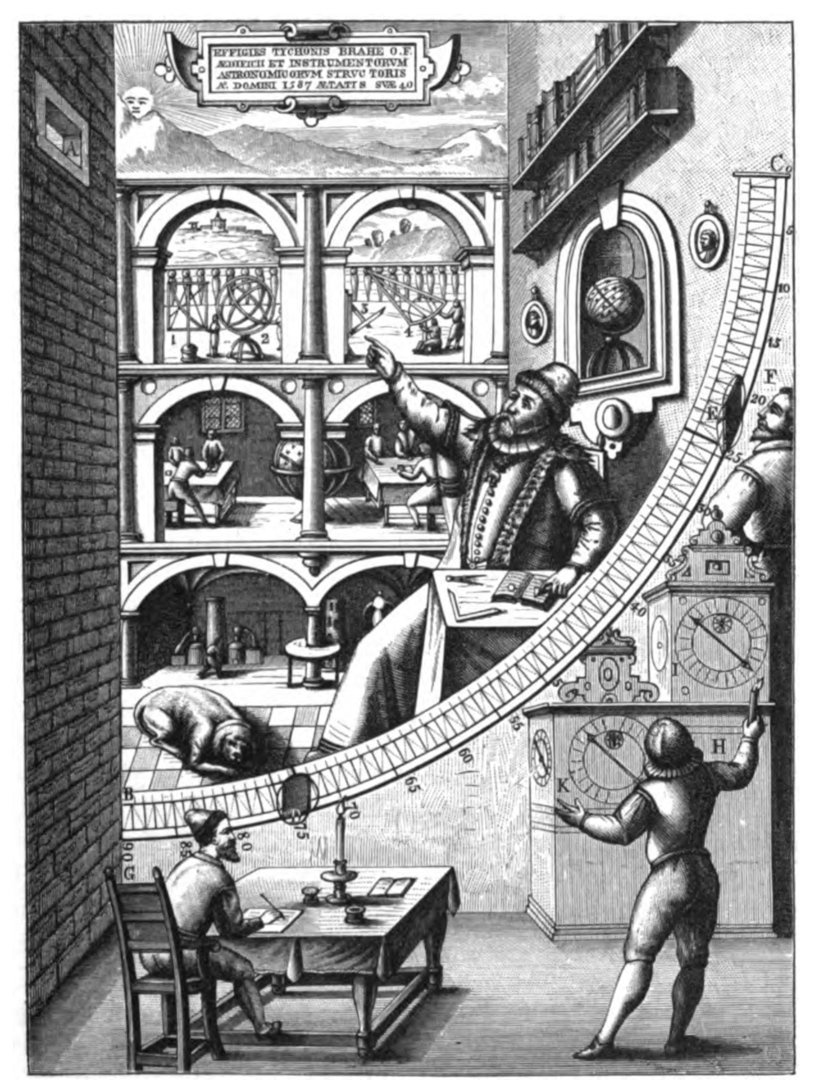
(Buchstaben-Erklärung.)

A, A′ durchbrochene eiserne Zylinder mit den Achsenlagern.
B würfelförmiges Mittelstück der Fernrohrachse.
C, C′ mit B verschraubte Hohlkegel mit zylindrischen Stahlzapfen.
D, D′ Fernrohrkörper.
O Objektiv.
O′ Okulareinsatz mit Fadenmikrometer.
K Teilkreis mit feiner Teilung von 2 zu 2′ auf schmalem Silberstreifen.
K′ Hilfskreis.
M, M′ Ablesemikroskope.
Q Quecksilberhorizont.
P Hänge-Niveau (Wasserwage).
H, H′ Rollen mit Haken zur Entlastung des Gewichts des Fernrohres.
J, J′ Hebelarme mit Ketten und Entlastungsgewichten.
R Speichenring zur Drehung des Fernrohres.
L, N Klemme und Feinbewegung.
G, G′ Gegengewichte zur Ausgleichung des Gewichts von R, L und N.
F Sucher.



Der Meridiankreis der Straßburger Sternwarte.

Stellen der Teilung der Röhre die beiden Enden der Blase sich befinden, nimmt das Niveau von der Achse, dreht es herum, so daß der vorher rechts befindlich gewesene Arm nun auf der linken Seite der Achse hängt, und liest nochmals die beiden Enden der Blase ab. Durch dieses Umdrehen wird ein Fehler vermieden, den ungleiche Längen der Arme des Niveaus



Tycho Brahe, mit seinen Gehilfen am Mauerquadranten beobachtend. Nach Tychos „Astronomiae instauratae mechanica", 1598. Vgl. Text, S. 421.

hervorbringen müßten. Auch die Lage der Achse wird sich niemals als ganz horizontal erweisen. Die Achsenlager sind zwar mit Stellschrauben versehen, durch die man gefundene Fehler korrigieren kann, aber man tut dies nur, wenn sie ein gewisses Maß überschreiten, wie man aus demselben Grund eine gute Uhr nicht gern fortwährend stellt. Hat man den Fehler selbst nur genau ermittelt, so kann man ihn stets in Rechnung bringen.

Die zylindrischen Zapfen, welche die Enden der Horizontalachse bilden, sind aus bestem Stahl gefertigt und natürlich sehr genau abgedreht; die Lager sind schräge Flächen aus Metall oder auch aus Achat, mit denen die Zapfen nur je eine kurze Berührungslinie gemein haben. Um hier die Reibung möglichst zu vermindern, sind Gegengewichte angebracht, die Achse dreht sich auf den Friktionsrollen H; diese hängen an den Hebelarmen J und J', an deren äußeren Enden die Gegengewichte durch Ketten befestigt sind. Die Zapfen werden meist der Anforderung, mathematisch genaue Zylinderflächen zu bilden, genügen; dennoch werden sie daraufhin auf das sorgfältigste geprüft, indem man das Fernrohr nacheinander auf verschiedene Höhen einstellt und jedesmal nivelliert. Die Ablesungen der Libelle sollen dann immer dieselben bleiben, wenn die Zapfen keine Ungleichheiten haben.

Da mit dem Instrument auf einen festen Punkt der Erdoberfläche bezogene Messungen ausgeführt werden sollen, so dürfen die Zapfenlager ihre Lage zur Erdoberfläche möglichst wenig ändern; dies kann nur durch tunlichst festes Fundamentieren der Pfeiler erreicht werden, die je nach der Beschaffenheit des Bodens gelegentlich bis zu 10 m hinabgehen. Man umgibt sie mit einem Hohlraum, so daß das Grundwasser sie umspült, und umhüllt sie mit einem Schutzmantel aus Filz und Metallblech. Durch diese und andere Vorrichtungen erreicht man, daß die Pfeiler keinen erheblichen Temperaturschwankungen, die sie ungleich ausdehnen, ausgesetzt werden.

Hat man durch alle solche Vorkehrungen für möglichste Horizontalität der Achse A A', bezw. für die Möglichkeit der Ermittelung ihrer betreffenden Fehler gesorgt, so ist damit natürlich noch nicht erreicht, daß nun die optische Achse O O' auch einen senkrechten Kreis beschreibt, denn es tritt hier noch die Bedingung hinzu, daß die Linie von der Mitte des Objektivs zu dem erwähnten Kreuzungspunkte der beiden mittelsten Spinnfäden am Okular einen genauen rechten Winkel zu der Verbindungslinie der Mittelpunkte der beiden Zapfen bildet. Steht die optische Achse schief zur Horizontalachse, so wird das senkrecht nach oben gerichtete Fernrohr nicht, wie es sein soll, den Zenit sehen, sondern z. B. rechts daran vorbeizielen; wenn man dann aber das Fernrohr um 180° dreht, so daß es auf den dem Zenit gegenüberliegenden Nadirpunkt zeigt (den Zenit unserer Antipoden), so wird es nun nach links abweichen. Auch hier wird man einen kleinen übrigbleibenden Fehler dieser Art, Kollimationsfehler genannt, nicht vermeiden können. Seine Größe ist auf zweierlei Art zu ermitteln. Zunächst dient dazu die sogenannte Nadirbeobachtung, für die das Instrument in unserer Abbildung vorbereitet ist. Man richtet hierfür das Objektiv nach unten und stellt darunter ein flaches, mit Quecksilber gefülltes Gefäß, den sogenannten Quecksilberhorizont (Q). Sieht man nun von oben O' durch das Fernrohr auf den Quecksilberhorizont herab, und befindet sich das Fernrohr dabei in absolut senkrechter Lage, so wird das Spiegelbild des von der Seite künstlich beleuchteten Fadenkreuzes am Okular von der Quecksilberfläche auch genau senkrecht wieder emporgeworfen werden: Spiegelbild und wirklicher Faden decken sich also vollkommen. Weicht aber das Fernrohr etwas nach rechts ab, so wird das Spiegelbild um den doppelten Betrag des vorhandenen Fehlers nach links verschoben; man sieht also neben den wirklichen Fäden ihre Spiegelbilder. Um die Größe der Abweichung zu bestimmen, ist ein beweglicher Spinnfaden (Mikrometerfaden) so nahe wie möglich bei den festen Fäden in der Brennebene hinter dem Okular angebracht. Die Verschiebungen dieses beweglichen Fadens lassen sich mit Hilfe einer äußerst feinen Mikrometerschraube in Bogenmaß (Bogensekunden) angeben. Man bringt nun den beweglichen Faden zunächst mit



dem festen Mittelfaden zur Deckung, liest die Stellung der Mikrometerschraube ab und läßt dann den beweglichen Faden mit dem Bilde des festen sich decken; die Differenz der Ablesungen gibt darauf den gesuchten Fehler. Derselbe ist aber hier, wie man sehen wird, mit dem Neigungsfehler der Horizontalachse gemischt; denn auch wenn das eine Zapfenlager tiefer liegt als das andere, muß das Fernrohr in dieser Lage von der senkrechten Richtung abweichen. Da man aber den Neigungsfehler durch das Niveau vorher bestimmen kann, ist er hier von dem Kollimationsfehler leicht zu trennen.

Durch eine besondere Vorrichtung kann man beide Fehler auch ohne Anwendung des Niveaus durch die geschilderte Nadirbeobachtung ermitteln. Es läßt sich auf Schienen ein kleiner Wagen unter das Fernrohr fahren, worauf sich eine Hebevorrichtung befindet, mit der man das Instrument aus seinen Achsenlagern emporheben und herumdrehen kann, so daß der vorher östliche Zapfen nun auf das westliche Lager kommt und umgekehrt: das Instrument wird umgelegt. Der Kollimationsfehler wirkt dann offenbar in umgekehrter Richtung, der Neigungsfehler bleibt aber derselbe wie in der ersten Lage des Fernrohrs, weil er nicht vom Instrumente selbst, sondern von der Stellung der festen Achsenlager hervorgebracht ist. Beobachtet man nun noch einmal den Nadir in derselben Weise wie vorhin, so gibt die Differenz der beiden Beobachtungen den doppelten Kollimationsfehler allein.

Die zweite Art, diesen Fehler zu ermitteln, beruht auf der Beobachtung einer sogenannten Mire. Als Mire kann ein beliebiger, genügend weit entfernter irdischer Gegenstand dienen, der im Gesichtsfelde des Fernrohrs in der Nähe des mehrerwähnten Mittelfadens sichtbar ist. Man stellt das Fernrohr, beziehungsweise den Mikrometerfaden auf die Mire ein, legt das Fernrohr um und wiederholt die Beobachtung. Dieses am Horizont erlangte Resultat ist ohne weiteres frei vom Neigungsfehler.

Sind die Bedingungen der Horizontalität der Achse und der Rechtwinkligkeit der optischen Mittellinie des Fernrohres erfüllt, so bewegt es sich in einem genau zum Horizonte senkrechten Kreise, der durch Zenit und Nadir geht. Aber solcher Vertikalkreise gibt es offenbar unendlich viele, während nur einer derselben der Meridian des Beobachtungsortes ist und die Bedingung erfüllt, daß er genau von Süden nach Norden verläuft. Diese Richtung ist leider auf der Erde durch nichts besonders ausgezeichnet, sie läßt sich nur durch die Beobachtung der Himmelskörper ermitteln, wie wir es bereits in roher Annäherung an den Schattenlängen des Gnomon taten.

Um nun zu erkennen, wie man mit dem Meridiankreis absolute, auf einen festen Punkt der Erdoberfläche bezogene Beobachtungen ausführen kann, müssen wir uns noch vergewissern, daß die Richtung der Drehungsachse AA' konstant bleibt. Hierzu dient wiederum die Mire. Wir nehmen vorderhand an, daß der durch die Mire und anderseits durch Zenit und Nadir gehende Vertikalkreis derjenige ist, auf den alle Beobachtungen bezogen werden sollen. Je weiter die Mire vom Instrument entfernt ist, desto mehr werden kleine Verschiebungen derselben verschwinden, die sie infolge von Temperaturdifferenzen oder auch wirklichen Schwankungen des Erdbodens erleidet. Veränderungen der Lage der Mire zum Mittelfaden des Fernrohrs, die, abgesehen von den übrigen Fehlern des Instrumentes, bemerkt werden, zeigen dann also eine Verschiebung der Achsenlager zueinander in horizontaler Richtung an, die in geringer Größe fortwährend stattfinden. Man nennt diese Abweichungen vom eigentlichen Meridian den Azimutalfehler des Instrumentes.

Die feinen Untersuchungen, denen der Meridiankreis jeder größeren Sternwarte beständig unterworfen wird, haben gezeigt, daß der Boden unter unseren Füßen unausgesetzt langsame, vielfach schraubenartige Bewegungen ausführt. Meist hält diese Bewegung mit den Jahreszeiten Schritt. Seltsamerweise ist von den Pfeilern des Berliner Meridiankreises durch langjährige Beobachtungen ziemlich sicher nachgewiesen worden, daß ihre Bewegungen eine Periode haben, die mit der der Sonnenflecke übereinstimmt. Bis in diese kleinsten Details hinein macht sich der Einfluß des mächtigen Zentralgestirnes geltend; allerdings handelt es sich hier um Abweichungen von wenigen Bogensekunden, so daß die bemerkte Verrückung der Pfeiler gegeneinander kaum den zehnten Teil einer Haaresbreite erreicht.

Nachdem durch die beschriebenen Manipulationen die Lage des von dem Mittelfaden des Instrumentes beschriebenen Kreises zu einem durch Punkte der Erdoberfläche festgelegten Vertikalkreise genau bestimmt ist, braucht man nur noch die jeweilige Erhebung der optischen Achse über eine Horizontallinie, die durch den Mittelpunkt des Instrumentes geht, bei jeder Beobachtung eines Sternes zu ermitteln, der zwischen den beiden Horizontalfäden eben den Meridian passiert hat. Denn durch die Angabe des Augenblickes dieses Durchganges, den man am Mittelfaden beobachtet, und die Höhe über dem Horizont, in der er stattfindet, ist die Lage des Sternes in diesem Augenblick in bezug auf den Mittelpunkt des Instrumentes, d. h. zu einem festen Punkte der Erdoberfläche genau bestimmt. Unsere Aufgabe ist damit erledigt. Zur Ermittelung dieses Höhenwinkels sind an beiden Enden der Drehungsachse die Kreise K und K′ angebracht, von denen der eine auf einem eingelegten Silberstreifen eine sehr genaue Teilung trägt. Um solche präzisen Kreisteilungen auszuführen, werden besondere Kreisteilmaschinen konstruiert, welche die Teilung unter Umständen sogar automatisch besorgen. Es ist verschieden, bis zu welchen Unterabteilungen der Gradteilung die Striche auf dem Kreise noch eingraviert werden; geht man bis zur Bogenminute, so sind also 360×60 = 21,600 Striche auf dem Kreise anzubringen. Der 21,601. Strich muß genau mit dem 1. Striche wieder zusammenfallen, sonst ist die Arbeit vergebens gewesen. Die zu erzielende Genauigkeit soll aber natürlich weit über die Bogenminute hinausgehen, während die Striche nicht sehr viel dichter gezogen werden können, weil dem Durchmesser der Kreise Schranken gesetzt sind, damit sie nicht durch die eigene Schwere ihre mathematische Gestalt ändern.

Um eine Ablesung von Sekunden und ihren Bruchteilen zu ermöglichen, sind gegen die Kreisteilung Mikroskope M, M′ gerichtet, die an den Pfeilern unveränderlich befestigt sind. Am Okulare jedes dieser Mikroskope, deren sich in der Regel vier auf jeder Seite befinden, sind wiederum feste und bewegliche Mikrometerfäden angebracht, wie am Okularende des Fernrohrs selbst. Der feste Faden eines der Mikroskope gilt als eigentlicher Nullpunkt.

Ist nun ein Stern, dessen Höhe beim Meridiandurchgang man messen will, im Gesichtsfeld erschienen, so dreht man das Fernrohr, bis der Stern genau in der Mitte zwischen den beiden Horizontalfäden in seiner scheinbaren täglichen Bewegung das Feld durchläuft, und klemmt dann das Instrument durch die Schrauben L, N fest, so daß es sich in keiner Weise mehr bewegen kann. In dem Nullpunktmikroskope werden darauf mehrere Teilstriche des Kreises sichtbar sein, deren Grad- und Minutenangaben man zunächst notiert. Diese Teilstriche werden einen gewissen Abstand von dem festen Spinnfaden des Mikroskopes haben, den wir als Nullpunkt der Höhenmessung angenommen hatten. Diesen Abstand mißt man, indem man mit Hilfe der Mikrometerschraube den beweglichen Faden im Mikroskop zunächst

auf den festen Faden und dann auf den nächstliegenden Teilstrich bringt und nun die Umdrehungen der Mikrometerschraube abliest, deren Wert in Bogensekunden bekannt ist. Auch wenn die Kreisteilung absolut richtig wäre, würden systematische Fehler bei Ablesung nur eines Mikroskopes dadurch entstehen, daß der Mittelpunkt des Kreises nicht streng in der Mittellinie der Drehungsachse liegt, daß er, fachmännisch ausgedrückt, exzentrisch ist. Dieser Fehler der Exzentrizität muß aber jedesmal auf der entgegengesetzten Seite des Kreises, also immer 180 Grad entfernt, in der umgekehrten Richtung wirken; man bringt deshalb auf dieser Seite ein zweites Mikroskop an, um das Mittel beider Ablesungen frei von der Exzentrizität zu erhalten. Die beiden anderen Mikroskope auf derselben Seite dienen zur Kontrolle, um zufällige Teilungsfehler zu entdecken. Die Instrumente besitzen in der Regel nur einen geteilten Kreis; da das Fernrohr aber zur Eliminierung eines Teiles seiner Fehler während der Beobachtung von Zeit zu Zeit umgelegt werden muß, so sind Mikroskope an beiden Pfeilern nötig. Der andere Kreis, K', der sich an der Achse befindet, ist nicht geteilt und dient nur dazu, die völlige Symmetrie des Instrumentes herzustellen, damit nicht ungleiche Durchbiegungen seiner Metallteile Fehler hervorbringen.

Soll die Lage eines Gestirnes mit dem Meridiankreis ermittelt werden, so hat man zunächst die drei hauptsächlichen Instrumentalfehler, die Neigung, die Kollimation und das Azimut, jedesmal neu zu bestimmen, denn diese Größen schwanken von Tag zu Tag. Die ungefähre Zeit und Höhe, in welcher der Meridiandurchgang des Gestirnes zu erwarten ist, ist vorher bekannt. Man gibt dem Instrument also die entsprechende Richtung und stellt den Stern, nachdem er im Feld erschienen ist, in die Mitte zwischen die beiden Horizontalfäden ein, wie schon früher angegeben. Nun ist nur noch der Zeitmoment mit möglichster Genauigkeit festzuhalten, in dem der Stern den Mittelfaden passiert; dann hat man offenbar für diesen Moment die Lage des Sternes zu einem irdischen Fixpunkte mit aller menschlich erreichbaren Genauigkeit festgelegt.

Um sich aber von einem zufälligen Fehler bei der Beobachtung dieses Durchganges durch den Mittelfaden unabhängig zu machen, sind parallel zu dem letzteren in bestimmten Abständen noch andere Fäden gezogen, deren Anzahl nach Bedürfnis schwankt. Man findet sie bis zur Zahl von 25 in solchen Instrumenten. Die Abstände dieser Fäden vom Mittelfaden, die zunächst willkürlich gewählt werden können, müssen jedoch durch eine große Anzahl von Beobachtungen bestimmt werden, damit man die an den Seitenfäden beobachteten Durchgänge auf den Mittelfaden beziehen, reduzieren kann. Dieses Netz aus Spinnfäden dicht hinter dem Okular wird deshalb vom Astronomen auf das sorgfältigste gehütet.

Die Momente des Durchganges des Sternes hinter dem Fadennetze werden heute fast ausschließlich durch den elektrischen Chronographen aufgezeichnet. Die astronomische Uhr schließt bei jedem Ausschlag ihres Sekundenpendels einen elektrischen Kontakt, wodurch in dem Chronographen ein Anker mit einer feinen Spitze in Bewegung gesetzt wird, die in diesem Moment in einen vorüberrollenden Papierstreifen ein Loch schlägt. Es entsteht so eine Reihe von Punkten in gleichen Abständen, die den Sekunden der Uhr entsprechen. Neben dem Sekundenstift befindet sich aber im Chronographen noch ein zweiter, der durch den Druck auf einen elektrischen Knopf von seiten des Beobachters beliebig in Tätigkeit gesetzt werden kann, so daß er zwischen die Sekundenpunkte noch einen anderen Punkt einfügt. Indem nun der Beobachter diesen Stift jedesmal in Bewegung setzt, wenn er den Stern hinter einem der Fäden vorüberziehen sieht, notieren sich die beobachteten Momente

auf dem Chronographen, und man kann nachträglich durch Ausmessen des Abstandes eines Beobachtungspunktes von den beiden nächstliegenden Sekundenpunkten den Bruchteil der Sekunde bestimmen, in welchem die Beobachtung gemacht wurde. Auf diese Weise kann leicht die Genauigkeit der Messung bis zu einer hundertstel Sekunde getrieben werden.

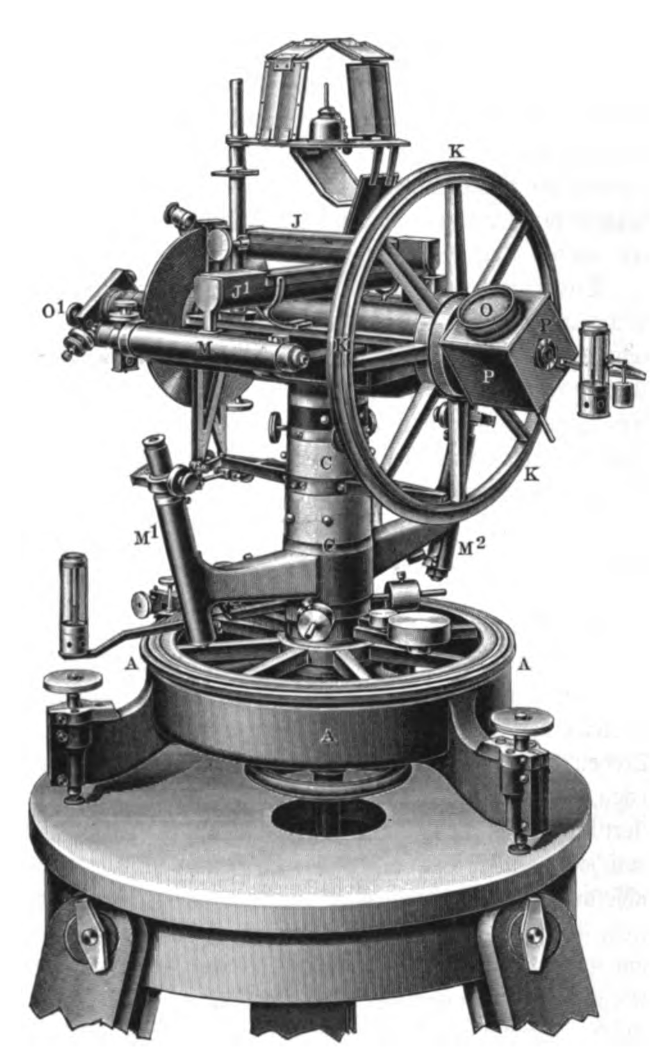
Aber die Beobachtung selbst ist damit noch lange nicht bis zu dieser Genauigkeit geglückt. Die physiologische Maschine unserer Sinne arbeitet bei weitem nicht so schnell und exakt wie die elektrischen Vorrichtungen, die unsere Sinneseindrücke in der angegebenen Weise notieren; und selbst diese Apparate, beispielsweise die in ihnen befindlichen Elektromagnete, bedürfen einer gewissen Zeit, um angeregt und in Tätigkeit versetzt zu werden. Auch von allen diesen Fehlern sucht der Astronom sich unabhängig zu machen. Zwischen dem Moment, in dem ein Ereignis eintritt, und jenem, in dem es uns durch unsere Sinne zum Bewußtsein kommt, verfließt eine gewisse merkliche Zeit; eine weitere Zeit brauchen wir, um den Entschluß zu irgendeiner Handlung zu fassen, z. B. zur Bewegung des elektrischen Druckknopfes, den man bei der Beobachtung in der Hand hält. Schließlich bedarf auch die Muskelreaktion einer Zeit zur Ausführung der Handlung. Mag auch die Summe aller dieser Verzögerungen nur Bruchteile einer Sekunde betragen, so muß sie doch in anbetracht der viel weiter gehenden Präzision, die der Astronom verlangt, ermittelt werden, zumal man die Erfahrung macht, daß diese Auffassungsunterschiede, die man mit dem Namen der *persönlichen Gleichung* belegt hat, bei verschiedenen Personen sowohl als bei verschiedenen Zuständen derselben Person verschieden sind. Bei den astronomischen Messungen soll häufig nur die Zeitdifferenz zwischen dem Eintritt eines und dem eines zweiten Ereignisses gemessen werden. Bleibt also die „persönliche Gleichung" eines Beobachters in annehmbaren Grenzen konstant, so wird er solche Differenzen genau bestimmen können, auch ohne seine persönliche Gleichung selbst zu kennen. Oft sind indes die gestellten Aufgaben derartig, daß sie von einem einzelnen Beobachter nicht ausgeführt werden können; dann müssen die an dem gemeinsamen Werke beteiligten Astronomen die Differenz ihrer „absoluten" persönlichen Gleichungen, welche Differenz man dann schlechtweg die persönliche Gleichung zwischen beiden nennt, ermitteln, um die Beobachtungen des einen auf die des anderen reduzieren zu können.

Die ganze astronomische Meßkunst ist gegenwärtig eine wahrhaft haarspalterische Wissenschaft geworden, und jahrelange Beobachtungen und Rechnungen werden ausgeführt, um gewisse konstante Werte, wie z. B. die Sonnenparallaxe, die bis auf etwa fünf Hundertteile einer Bogensekunde bereits sicher ermittelt waren, bis auf ein oder zwei Hundertstel-Sekunden zu bestimmen. Solche Genauigkeit aber erreichen auch die besten Beobachter nicht mit den besten Instrumenten durch einzelne Messungen, denn mit dem Meridiankreis wird eine einzelne Durchgangsbeobachtung nur auf eine bis höchstens eine halbe Bogensekunde genau werden, soweit man von zufälligen Fehlern absieht, die sich überall einschleichen.

Von solchen unberechenbaren Einflüssen kann man sich nur durch sehr häufige Wiederholung von Beobachtungen, die zu demselben Resultate führen, mehr und mehr befreien, indem man annimmt, daß sie durchschnittlich ebenso häufig in dem einen wie in dem anderen Sinne auf das Resultat wirken, der Mittelwert also davon unabhängig wird. Systematisch wirkende Fehler unbekannten Ursprunges vermag der rechnende Astronom aus einer genügend großen Anzahl von Beobachtungen durch die sogenannte *Methode der kleinsten Quadrate* zu erkennen und zu entfernen, einer langwierigen Rechnungsoperation, die heute bei jeder größeren astronomischen Rechnung angewendet wird. Die Methode gestattet

es, mit Hilfe eines einfachen und für alle Fälle gültigen Schemas aus einer sehr großen Anzahl von Gleichungen mit numerischen Koeffizienten die zu bestimmenden Unbekannten derart zu finden, daß nach Einsetzung der gefundenen Werte in die Gleichungen die Summe der übrigbleibenden Fehlerquadrate eine möglichst kleine Größe ist, und daß zugleich die Bedingung erfüllt wird, daß die Fehler nicht nach irgendeiner Seite hin vorherrschen.

Wir sehen, wie der Astronom, der bis zur letztmöglichen Genauigkeit vorzudringen sucht, sich von einem Gewirre kleiner Fehler umgeben sieht, und wie heutzutage seine Aufgabe fast ausschließlich darin besteht, die längst bekannten Resultate von den letzten dieser noch übriggebliebenen minimalen Fehler zu befreien, eine Arbeit, in welcher der Scharfsinn des Menschen seine größten Triumphe gefeiert hat.



Das Altazimut der Genfer Sternwarte.

Die Beobachtungen mit dem Meridiankreise haben den Nachteil, daß sie nur im Meridian angestellt werden können, man also jedesmal warten muß, bis der Stern diese Südrichtung durchläuft. Ist in diesem Augenblicke die Beobachtung etwa durch die Ungunst der Witterung vereitelt worden, so muß man 24 Stunden harren, bis die tägliche Umdrehung der Erde den Stern wieder in dieselbe Lage bringt. Der Beseitigung dieses Übelstandes dient ein Instrument, das sonst wie der Meridiankreis eingerichtet ist, nur daß die bei diesem festliegenden Zapfenlager der Drehungsachse sich ihrerseits wieder auf einem horizontalen Kreise drehen lassen. Das Azimut dieses A l t a z i m u t genannten Instrumentes kann längs des Horizontes alle 360 Grad durchlaufen; es ist damit zur gleichzeitigen Messung von Höhen (A l t i t u d e n) und der A z i m u t e eingerichtet. Azimut nennt man den durch den Bogen vom Südpunkte des Meridians nach Westen am Horizonte gezählten Winkel, den ein Vertikalkreis mit dem Meridian einschließt. Obenstehende Abbildung zeigt das auf der Sternwarte

zu Genf befindliche Altazimut. O O¹ entspricht hier der Drehungsachse des Meridiankreises, K dem Höhenkreise dieses Instrumentes, und M ist dessen Ablesungsmikroskop. Das Fernrohr ist in der Drehungsachse selbst angebracht. Hinter dem Objektiv O ist in dem metallischen Würfel P ein Glasprisma derart montiert, daß die in das Objektiv fallenden Strahlen rechtwinkelig abgelenkt und nun in der Richtung der Drehungsachse bis zum Okular O¹ geführt werden. Der Beobachter blickt also immer wagerecht in das Fernrohr. Bei größeren Instrumenten dieser Art ist das Fernrohr in derselben Weise wie beim Meridiankreis an dem Würfel P angebracht, wodurch die neue, durch das Prisma eingeführte Fehlerquelle wegfällt. Alle diese Teile ruhen auf der Säule C, die gleichfalls drehbar ist und dadurch zur Vertikalachse des Instrumentes wird. Am Azimutalkreis A, der genau horizontal aufgestellt ist, kann man durch die Mikroskope M¹ und M² den Winkel bestimmen, um den man den oberen Teil des Instrumentes aus dem Meridian gedreht hat.

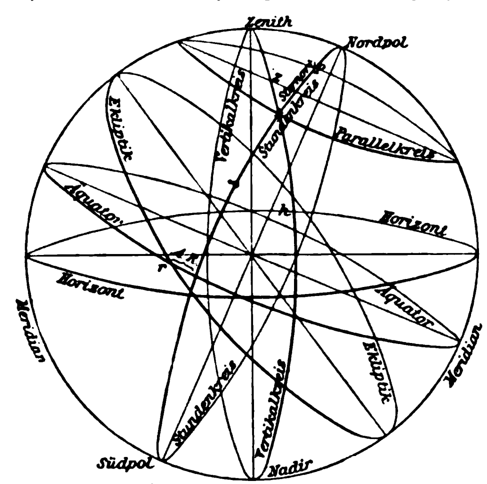
Durch diese Kombination kann man jeden über dem Horizonte stehenden Stern zu jeder Zeit erreichen, um seinen Durchgang durch irgendeinen anderen Vertikalkreis als den Meridian zu beobachten. Das Altazimut wäre also dem Meridiankreis unbedingt vorzuziehen, schon weil man die Beobachtungen mit dem ersteren beliebig vervielfältigen kann, indem man dem Stern immer nachfolgt, wenn nicht durch die Komplikation des Instrumentes neue Fehlerquellen eingeführt würden, welche die Zuverlässigkeit der Beobachtungen notwendig herabmindern müssen. Man hat es mit zwei geteilten Kreisen und deren Fehlern zu tun, muß mit größter Sorgfalt den Azimutalkreis horizontal halten oder seine betreffenden Abweichungen ermitteln und neben dem Niveau J noch ein zweites J¹, das zu dem ersten im rechten Winkel aufgestellt ist, fortwährend beobachten. Die ganze Art seines Aufbaues macht das Altazimut weniger stabil als den zwischen festen Pfeilern ruhenden Meridiankreis, der eben deshalb stets das wichtigste Präzisionsinstrument des Astronomen bleiben wird.

Richtet man das Altazimut auf einen Punkt des Horizontes und dreht es um die Achse C, so bleibt der Sehstrahl im Horizonte, dessen 360 Azimutgrade er nacheinander durchläuft. Drehen wir es dagegen um die horizontale Achse O¹ P um 90 Grad, so daß wir den Zenit sehen, so bleibt das Instrument auf diesen Punkt gerichtet, auch wenn wir es beliebig um die Vertikalachse drehen; der Sehstrahl bleibt in senkrechter Richtung unverändert. Für dazwischenliegende Richtungen der Horizontalachse werden aber bei Drehung der Vertikalachse durch den Sehstrahl Kreise auf der Himmelskugel beschrieben, die um so größer sind, je mehr sie sich dem Horizonte nähern; sie liegen zu diesem parallel. Es entsteht so ein System von Kreisen an der Himmelskugel, die mit den Breitenkreisen auf dem Erdglobus übereinstimmen, wenn man hier den Horizont mit dem Äquator, den Zenit mit dem Pol vertauscht. Man nennt diese Parallelkreise der Himmelskugel **Höhenkreise**. Ebenso wie auf dem Erdglobus die Breitenkreise von den Meridianen oder Längenkreisen senkrecht geschnitten werden und sämtlich in den Polen zusammenlaufen, so werden die Höhenkreise von den **Vertikalkreisen** an der Himmelskugel senkrecht geschnitten. Sie treffen also auch senkrecht auf den Horizont, den sie in seine Azimutalgrade teilen.

Mit Hilfe dieses Systems von Kreisen an der scheinbaren Himmelskugel (s. die Abbildung, S. 431) können wir den Ort eines Sternes durch seine Höhe und sein Azimut angeben, wie die Lage eines Ortes auf der Erde durch seine geographische Länge und Breite bekannt wird. Für die Höhen ist der Anfangspunkt der Zählung naturgemäß durch den Horizont gegeben, während es für die Zählung der Azimute ganz ebenso wie für die geographischen

Längen einer Übereinkunft bedarf; sie werden meist vom Südpunkte des Horizontes nach Westen hin gezählt. Das Altazimut gestattet die sofortige Auffindung eines Sternes, dessen Höhe und Azimut für einen bestimmten Zeitpunkt gegeben ist. Man dreht zu diesem Ende die Vertikalachse um den Azimutalwinkel und darauf die Horizontalachse um den Höhenwinkel, worauf zu der betreffenden Zeit der Stern im Gesichtsfeld erscheint.

Ein Stern verändert aber vermöge der täglichen Bewegung der Erde Azimut und Höhe in jedem Augenblick. Will man also einen Himmelsglobus konstruieren, auf dem die Sternorte ebenso unveränderliche Koordinaten besitzen, wie es die geographischen sind, so muß man ein anderes System von Kreisen ausfindig machen. Man erhält ein solches leicht, nachdem man entdeckt hat, daß die täglichen Bewegungen der Sterne in Kreisen stattfinden, die sich zueinander parallel um einen für einen bestimmten Beobachtungsort unbeweglichen Punkt gruppieren, um den Himmelspol. Die Abbildung einer photographischen Aufnahme des himmlischen Nordpoles mit seiner nächsten Umgebung auf Seite 43 veranschaulicht diese Bewegung. Die Sternspuren als Teile von Kreisen geben den Weg an, den die verschiedenen Objekte während der Dauer der Belichtung am Himmel beschrieben haben. Die Winkel zwischen den Enden jedes dieser Kreisbogen sind überall gleich, während sie sich konzentrisch um einen Punkt gruppieren, der ohne Bewegung blieb. Je mehr ein Stern von diesem Punkte entfernt ist, einen um so größeren Kreis beschreibt er, bis die Entfernung von 90 Grad vom Pol, d. h. der Himmelsäquator, erreicht ist. Von hier ab verengern sich die Kreise wieder bis zum Südpol, der für uns allerdings unter dem Horizonte bleibt. Abgesehen von eigenen und gewissen systematischen Bewegungen, die im Vergleich mit der allgemeinen täglichen Bewegung der Gestirne klein sind, bleiben die letzteren stets in unveränderlicher Lage zum Äquator.



r bedeutet Frühlingsnachtgleichenpunkt, h Höhe, Z Zenitdistanz, P Poldistanz des Sternes.

Die Koordinatensysteme am Himmel. Vgl. Text, S. 430.

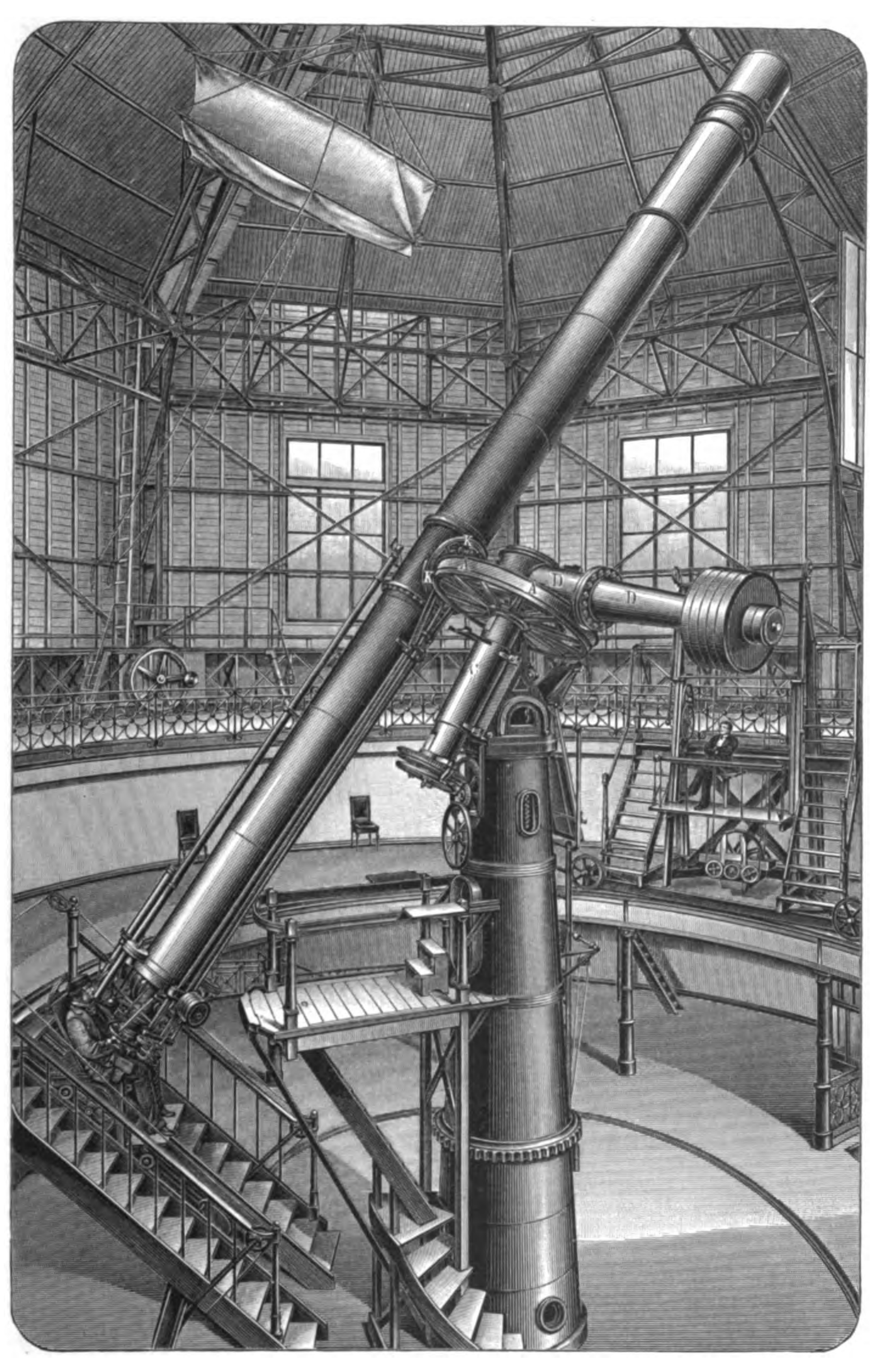
Der Winkelabstand eines Sternes, vom Äquator senkrecht zu ihm hinauf gezählt, in derselben Weise wie wir die Höhen vom Horizont abmaßen, bildet also eine unveränderliche Koordinate dieses Sternes; man nennt sie die Abweichung oder Deklination (D oder auch δ). Ihre Ergänzung zu 90 Grad kommt dem Abstande des Sternes vom Pole gleich; es ist seine Poldistanz. Um nun den Ort eines Sternes auf dem Himmelsglobus festzulegen, bedürfen wir noch eines zweiten Systems von Kreisen, die auf den Deklinationskreisen senkrecht stehen und sich in den Himmelspolen schneiden. Diese Kreise sind ebenso auf dem Himmelsäquator zu zählen wie die Meridiane auf dem Erdäquator oder die Vertikalkreise auf dem Horizont. Auch hier bleibt wieder der Anfangspunkt der Zählung zunächst willkürlich. Man hat als Anfangspunkt der Zählung einen nicht ohne weiteres sichtbar am Himmel ausgezeichneten Punkt gewählt, den sogenannten Frühlingsnachtgleichen- oder Äquinoktialpunkt, der sich dort befindet, wo die

Sonne in ihrer jährlichen Bahn im Augenblick des Frühlingsanfanges den Himmelsäquator kreuzt. Diese zweite vom Äquinoktialpunkt auf den Äquator gezählte Koordinate hat man die Gerade Aufsteigung, Rektaszension (A.R. oder α), eines Sternes genannt; sie wird nach Osten herum gezählt. Für die an sich wenig glücklichen Bezeichnungen dieser beiden Koordinaten, Rektaszension und Deklination, sind die einfacheren und deutlicheren Bezeichnungen äquatoriale Länge und Breite vorgeschlagen worden, ohne daß sie sich allgemein hätten einbürgern können. Außer den beiden Systemen von Kreisen an der Himmelskugel, die wir bisher kennen lernten, bedienen sich die Astronomen noch eines dritten, das jedoch nur bei Rechnungen, nie bei Beobachtungen Verwendung findet; es sind die ekliptikalen Längen und Breiten. Sie beziehen sich auf die jährliche Bahn der Sonne, die Ekliptik, die eine gewisse Neigung zum Äquator besitzt. Die Längen werden in diesem System ebenso wie in dem des Äquators vom Frühlingsnachtgleichenpunkt gerechnet, der beiden Systemen gemeinschaftlich ist. Die Koordinaten dieses Systemes werden nach der alten Methode schlechtweg Längen und Breiten genannt.

Da die Äquatorialkoordinaten eines Sternes, wie schon bemerkt, unveränderlich sind, so würde man mit einem Instrumente, das in bezug auf dieses System ebenso orientiert ist, wie das Altazimut in bezug auf das System des Horizontes, jederzeit einen Stern auffinden können, für den diese konstanten Koordinaten bekannt sind. Ein solches Instrument bietet also dem Beobachter eine wesentliche Erleichterung, während die Berechnung von Höhe und Azimut eines Sternes für einen gegebenen Augenblick während der Beobachtung zeitraubend ist. Diese Erleichterung schafft das Äquatorial. Wir werden das Prinzip seiner Aufstellung ohne weiteres verstehen, wenn wir das Altazimut uns so gedreht denken, daß seine Vertikalachse (C) gerade auf den Himmelspol weist. Auf unserer Abbildung des großen Äquatorials zu Pulkowa (s. die beigeheftete Tafel) haben wir diese Achse, nun Polarachse genannt, wieder mit C bezeichnet. An ihr befindet sich oben der Kreis A, dessen Einteilung aber nicht mehr Azimute, sondern eine der äquatorialen Länge oder Rektaszension verwandte Größe gibt. Senkrecht zur Polarachse ist gleich über dem Kreis A die Deklinationsachse DD angebracht, die der Achse OO′ des Altazimuts entspricht; sie dreht sich wie die letztere, und der hier sehr kleine Kreis K gibt wie beim Altazimut die Drehung des Fernrohrs in der betreffenden Richtung an. Man liest auf diesem Kreise 0 Grad ab, wenn das Instrument auf den Himmelspol gerichtet ist. Das eigentliche Fernrohr ist jenseits des Kreises K ebenso angebracht wie bei den größeren Altazimuten, die eines Objektivprismas entbehren können.

Als Nullpunkte des dem Äquator parallelen Kreises kann man die Richtung nach dem Frühlingsnachtgleichenpunkte nicht wählen, weil dieser selbst mit der Himmelskugel an der täglichen Bewegung teilnimmt, während das Instrument mit dem Kreise doch eine feste Aufstellung haben muß. Man wählt deshalb auch hier als Anfangsrichtung für die Zählung den Meridian. Der Winkel, um den ein Stern in einem gegebenen Augenblicke, von der Meridianrichtung auf dem Äquator gezählt, abweicht, nennt man den Stundenwinkel, weil er für alle Sterne bei einer gleich großen Zeit, die nach ihrer Kulmination verstrichen ist, immer derselbe bleibt. Man mißt deshalb diesen Winkel auch unmittelbar nach der Zeit, d. h. man sagt, der Stern habe z. B. einen Stundenwinkel von 55 Minuten, wenn diese Zeit seit seinem Meridiandurchgange verstrichen ist.

Dabei mag gleich eingeschaltet werden, daß hierbei die sogenannte Sternzeit verwendet wird, deren Tag zwischen je zwei Durchgängen des Frühlingsnachtgleichenpunktes



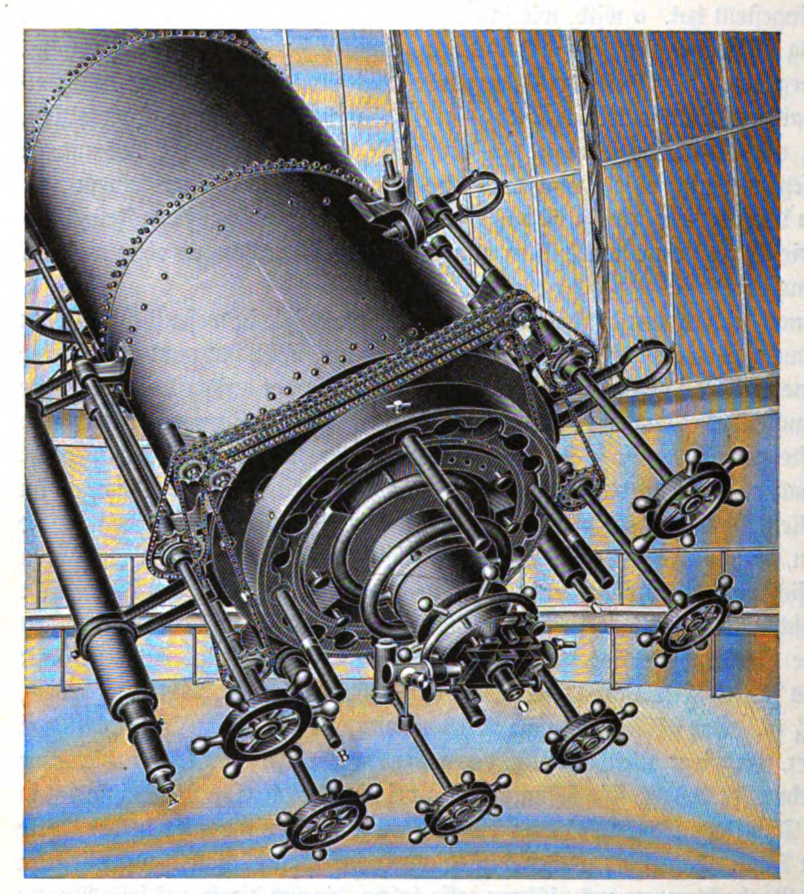
Das Äquatorial von 32 Zoll Öffnung,
auf der Sternwarte zu Pulkowa bei St. Petersburg.

durch den Meridian eingeschlossen ist. Neben jedem astronomischen Instrument ist eine Sternzeituhr aufgestellt, deren Zeiger beständig den Stundenwinkel des Frühlingsnachtgleichenpunktes angeben. Man braucht nun die äquatoriale Länge (Rektaszension) eines Sternes nur von der jeweiligen Sternzeit abzuziehen, um seinen eben stattfindenden Stundenwinkel zu erhalten; auf diesen hat man das Fernrohr einzustellen, um das Gestirn in dessen Gesichtsfeld zu bringen, wenn man vorher die Poldistanz ($p = 90^0 - \delta$) auf dem Deklinationskreis eingestellt hat. α wird, wie schon früher bemerkt, nach Osten hin, also der täglichen Bewegung entgegengesetzt, gezählt und auch immer in Stunden, Minuten 2c., nicht in Graden angegeben. Bezeichnen wir die augenblickliche Sternzeit mit Θ, den Stundenwinkel mit t, so haben wir allgemein $t = \Theta - \alpha$. Um auch diese einfache Subtraktion, die zur Einstellung mit dem „Stundenkreis" A doch nötig ist, zu vermeiden, hat man in neuerer Zeit den letzteren noch mit einem anderen Kreis umgeben, der mit einem nach Sternzeit gehenden Uhrwerk versehen ist, so daß sein Nullpunkt beständig auf den Frühlingspunkt weist. Bei diesen Instrumenten können also die äquatorialen Längen ohne weiteres zur Einstellung benutzt werden.

Solange man noch nicht daran denken konnte, diese Äquatoriale in wesentlich größeren Dimensionen zu bauen als die Meridiankreise oder Altazimute, versuchte man es, dieselbe Genauigkeit mit ihnen zu erreichen wie mit jenen, d. h. mit Hilfe der beiden Kreise absolute Beobachtungen anzustellen. Nachdem aber gerade diese Art von Instrumenten nach und nach ins Riesenhafte gewachsen ist, so daß allein schon die verwendeten Linsen mehrere Zentner Gewicht haben, während die Rohre, an deren oberem Ende sich die Objektive im Kreise bewegen sollen, haushoch geworden sind, stellte sich die Unmöglichkeit heraus, sie so stabil aufzustellen, daß durch die Nachgiebigkeit des Materials in den verschiedenen Lagen des Instrumentes sich nicht unberechenbare Fehler von relativ beträchtlicher Größe in die Beobachtungen einschlichen. Das gegenwärtig größte Instrument dieser Art ist der unweit Chicago aufgestellte Yerkes-Refraktor (s. Abbildung, S. 29). In Zenitstellung befindet sich das Objektiv des Yerkes-Refraktors 22 m über dem Fußboden des Beobachtungsraumes, der Drehpunkt 13¼ m. Der stählerne Tubus ist 19 m lang und hat einen Querschnitt von $1^1/_{10}$ m Durchmesser. Er wiegt allein 5450 kg, das ganze Instrument 68,000 kg. Die Linse von 101½ cm Durchmesser besteht, wie bekannt, aus zwei Teilen: die Crownglaslinse hat in der Mitte $7^2/_3$ cm Dicke, am Rande 2¼ cm; die konkave Flintglaslinse mißt in der Mitte $3^4/_5$ cm, am Rande 7 cm. Angesichts solcher Dimensionen gab man es längst auf, mit dem Äquatorial absolute Beobachtungen auszuführen, also solche, die sich direkt auf feste Punkte der Erde beziehen, sondern man begnügt sich mit Differentialbeobachtungen, d. h. man ermittelt den Lagenunterschied eines Objektes, dessen Ort man bestimmen will, von dem eines in der Nähe befindlichen anderen, dessen Ort durch Beobachtungen mit dem Meridiankreise bestimmt ist. Es braucht bei solchen Differentialbeobachtungen nur dafür gesorgt zu werden, daß das Instrument während derselben absolut unbeweglich bleibt, so daß sich die Fehler seiner Aufstellung während der Beobachtung nicht ändern können. Sie fallen dann aus der gefundenen Differenz heraus. Die Aufstellung des Instrumentes und die geteilten Kreise dienen nunmehr nur noch dazu, das zu beobachtende Objekt am Himmel aufzufinden; die genannten Kreise werden Einstell- oder Aufsuchungskreise.

An Stelle dieser Erleichterung für die Konstruktion derartiger Rieseninstrumente, an deren Aufstellung und Stabilität nun nicht mehr die Anforderung alleräußerster Präzision

gestellt wird, treten dagegen wegen der großen Länge und Schwere des Fernrohres andere Schwierigkeiten. Die beiden Kreise müssen notwendig an den Enden der beiden Achsen angebracht werden, von denen die Deklinationsachse das Fernrohr in seiner Mitte tragen muß, damit sein Gewicht sich gleichmäßig verteilt. Bei den größeren Äquatorialen sind deshalb die Kreise mehrere Meter vom Okular entfernt. Bei den größten steigt diese Entfernung bis auf 9 m, und um mindestens ebensoviel müssen die Aufsuchungskreise über dem Fußboden des Beobachtungsraumes auf einer Säule montiert sein, die das kolossale Gewicht eines solchen Instrumentes zu tragen hat. Um sie erreichen und ablesen zu können, müßte man also mehrere Stockwerke emporsteigen; das muß aber vermieden werden, nicht nur um den Beobachter vor Ermüdung zu schützen oder ihn von einem zweiten Mitarbeiter unabhängig zu machen, sondern weil es für die Beobachtung notwendig ist, vom Okular aus alle betreffenden Teile des Instrumentes sofort übersehen, insbesondere die Kreise ablesen, beziehungsweise verstellen zu können. Die diesem Zwecke dienenden Vorrichtungen haben das Okularende eines großen Refraktors nach und nach mit einem derartigen Gewirr von Schrauben, Stangen, Zahnrädern und Nebenokularen umgeben, daß ein Nichtastronom das eigentliche Okular, an das er sein Auge bringen soll, gar nicht finden würde.



Das Okularende des 40zölligen Yerkes-Refraktors. Nach Photographie.

Wir bilden das Okularende des 40-Zöllers der Yerkes-Sternwarte oben ab. B und C sind lange Mikroskope, die bis zum Mittelteil des Fernrohres emporreichen und mit einer Anordnung von Prismen derart versehen sind, daß man mit ihnen in jeder Lage den Deklinations- und den Stundenkreis ablesen kann. Die steuerradähnlichen sechs Vorrichtungen dienen zur Feststellung des Instrumentes in den beiden Richtungen. Dreht man

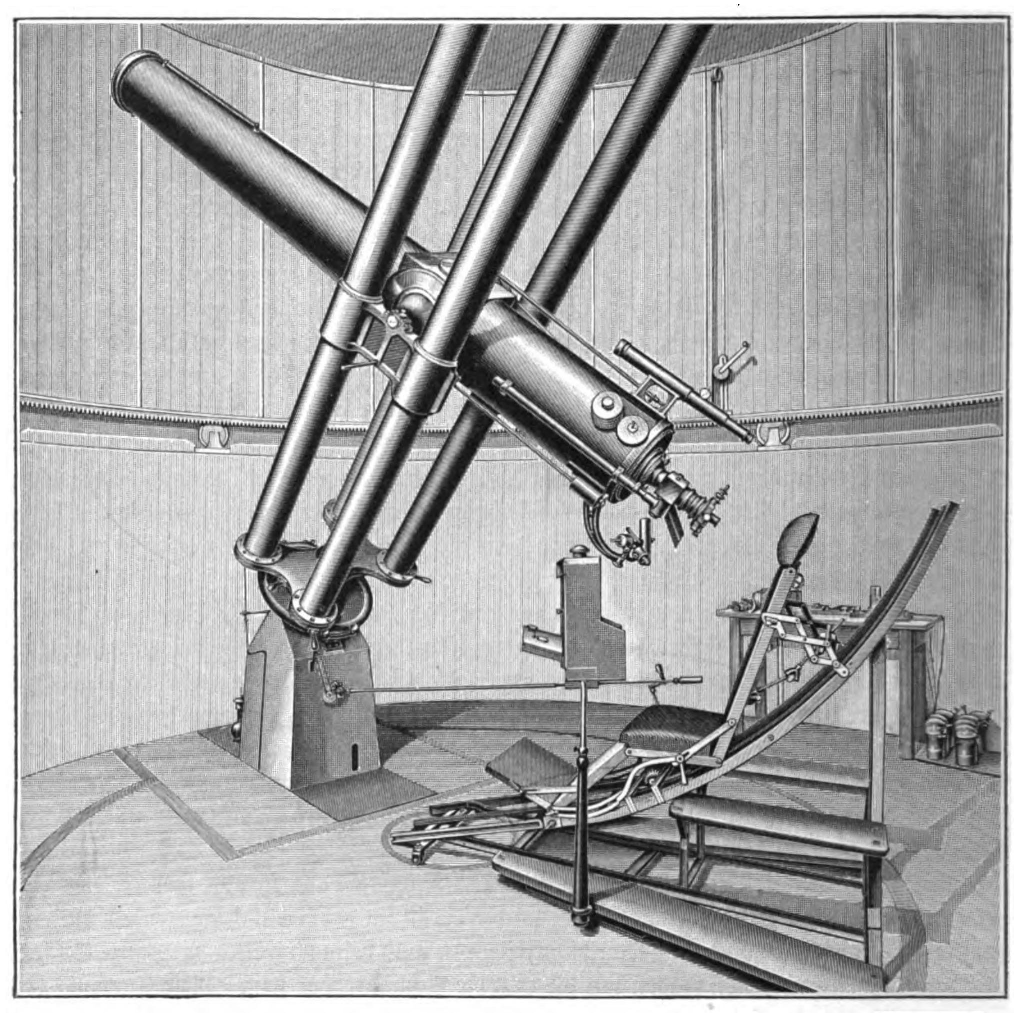
gewisse von diesen Rädern, so weit man es vermag, so ist das vorher frei mit der Hand bewegliche Instrument nun fest mit der Säule verbunden. Doch gestatten es die übrigen ähnlich gestalteten Räder am Okularende, dem Instrumente noch feine Bewegungen zu geben. Man hat sie an möglichst verschiedenen Orten angebracht, zur Bequemlichkeit des Beobachters, der imstande sein muß, sie sicher zu hantieren, während er das Auge am Okular O hat. A ist ein sogenanntes Sucherfernrohr, das, parallel mit dem großen, an diesem und deshalb nur gleichzeitig mit ihm beweglich befestigt ist. Es hat eine geringere Vergrößerung und damit ein größeres Gesichtsfeld als der Koloß selbst. Man wird mit ihm Objekte, deren Ort nicht ganz genau bekannt ist, oder auch bekannte Sterne bei nicht ganz sorgfältiger Einstellung des Instrumentes leichter auffinden, wenn sie nicht so lichtschwach sind, daß sie durchaus der Kraft des großen Fernrohrs bedürfen. Stellt man das im Sucher gefundene Objekt in die Mitte seines Gesichtsfeldes, so steht es auch in dem des großen Fernrohres.

Sehr viel Kunst erfordert auch die Anbringung der Beleuchtungsvorrichtungen, die in der Nacht die verschiedenen Teile des Instrumentes ablesbar machen müssen, während anderseits der Beobachtungsraum in möglichstes Dunkel gehüllt bleiben muß, um dem Auge die nötige Empfindlichkeit zu bewahren, und die Lampen überdies so angebracht werden müssen, daß die zur Messung dienenden Teile nicht unter der Wärmeausdehnung leiden. Ein weiteres kompliziertes System von Prismen wirft zu diesem Zweck in den verschiedenen Richtungen Lichtstrahlen an oder auch in dem Fernrohr hin und her. Insbesondere müssen auch die Fäden des Mikrometers, das sich wie beim Meridiankreise gleich hinter dem Okular befindet, beleuchtet werden, ohne daß von dem hierzu benutzten Lichte ein diffuser Schein das Gesichtsfeld auch nur im mindesten aufhellt, denn der Refraktor soll ja dazu dienen, die allerzartesten Lichtschimmer noch zu erkennen und ihre Lage zu messen. Zu diesem Zwecke muß die Beleuchtung der Fäden vom Beobachter schnell und sicher reguliert werden können, weil unter Umständen auch von den Fäden nur eine ganz geringe Spur noch sichtbar bleiben darf. Andere Beobachtungen wieder gestatten etwas diffuses Licht innerhalb des Fernrohres, und da die Beobachtungen sicherer werden, wenn man die Fäden dunkel auf hellem Grunde sieht, so kann die ganze Beleuchtungsart durch einen Griff umgeändert werden, um vom dunkeln Gesichtsfelde mit hellen Fäden auf ein helles Gesichtsfeld mit dunkeln Fäden übergehen zu können.

Die größte Sorgfalt muß natürlich dem Mikrometer zugewendet werden, mit dem allein die eigentliche Messung ausgeführt wird. Es ist im großen und ganzen ebenso eingerichtet wie das Mikrometer am Meridiankreise, nur muß beim Refraktor das ganze System der beweglichen und festen Fäden um die optische Achse drehbar sein. Diese Drehung des ganzen Mikrometers liest man am Positionskreise ab, der sich gleich hinter dem eigentlichen Mikrometerschlitten befindet. Der Kopf der Mikrometerschraube ist sehr groß und zu einer sogenannten Trommel ausgebildet, die eine feine Teilung trägt und noch Hundertstel einer Schraubenumdrehung abzulesen erlaubt. Eine andere mit ihr in Verbindung stehende Scheibe zeigt die Anzahl der ganzen Umdrehungen an.

Man kann mit einem solchen Mikrometer zweierlei Arten von Beobachtungen anstellen. Durch die eine bestimmt man die Unterschiede der äquatorialen Länge und Breite zwischen dem unbekannten und einem bekannten Objekt, dem sogenannten Vergleichsstern. Im anderen Falle mißt man die kürzeste Distanz zwischen beiden und die Richtung der Verbindungslinie gegen eine gewisse konstante Richtung.

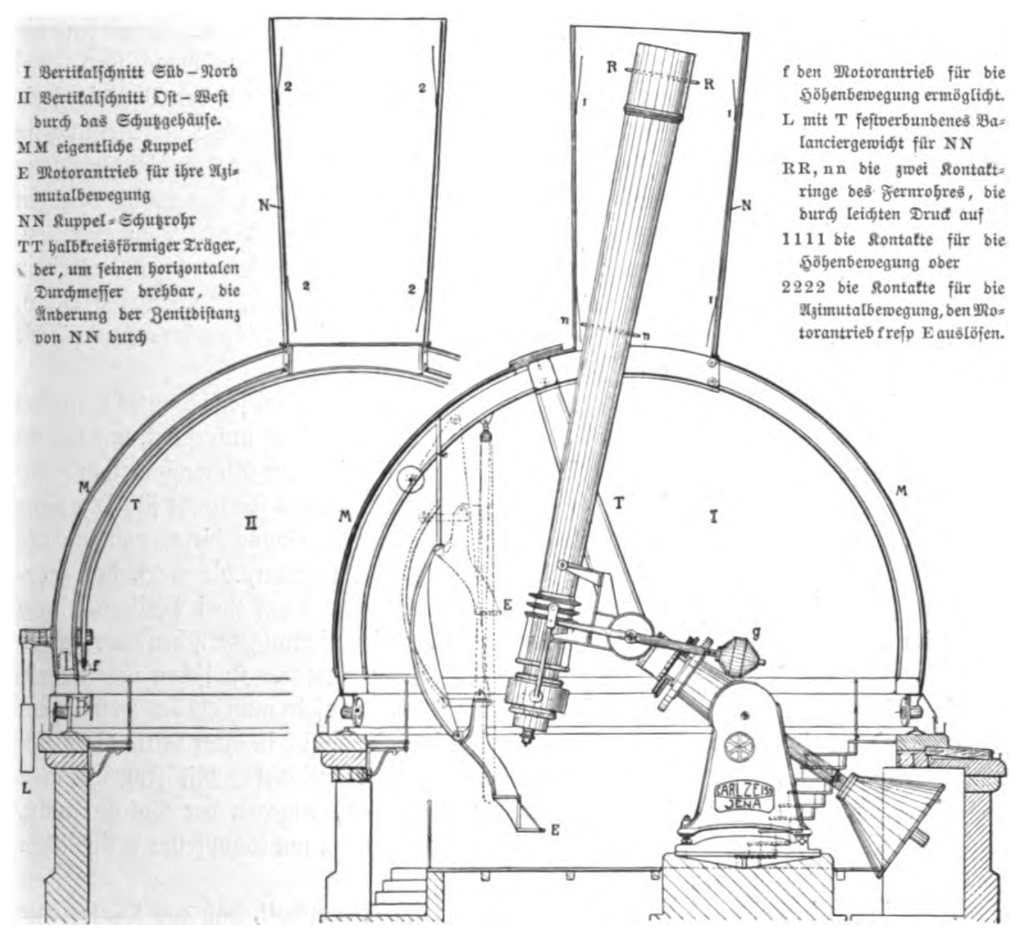
Die Anforderung, die beiden Gestirne während der Messung im Gesichtsfelde festzuhalten, bringt eine neue Komplikation im Bau des Äquatorials mit sich: es muß mit einem genauen Uhrwerk oder richtiger Triebwerk versehen werden, das den Koloß in 24 Stunden einmal um seine Polarachse dreht; dann wird er, da er äquatorial aufgestellt



Zehnzölliger Refraktor in Genf (englische Aufstellung). Vgl. Text, S. 438.

ist, jedem beliebigen Stern, auf den er gerichtet ist, gleichviel ob er sich am Pol oder am Äquator befindet, in seiner täglichen Bewegung folgen. Die Konstruktion eines solchen Triebwerkes verursacht die größten Schwierigkeiten; alle unsere Uhren arbeiten sprungweise, und auf andere Art ist auch eine genaue Regulierung schwer erreichbar. Das Uhrwerk des Refraktors aber soll so gleichmäßig gehen, daß bei vielhundertfacher Vergrößerung der täglichen Bewegung der Stern fest hinter dem Pünktchen stehen bleibt, das durch die Kreuzung zweier Spinnfäden markiert wird. Ist auch das Fernrohr so fein ausbalanciert, daß trotz seines Zehner von Zentnern betragenden Gewichtes es vom Beobachter leicht

regiert werden kann, so ist doch eine beträchtliche und in den verschiedenen Lagen des Fernrohrs etwas schwankende Reibung zu überwinden, derenungeachtet das Uhrwerk stets gleichmäßig arbeiten soll. Meist wird die Aufgabe durch Anbringung eines Zentrifugalpendels zu lösen gesucht; bei dem Refraktor der Berliner Urania wird nach dem Vorgange des Genfer Instruments die Elektrizität als treibendes und zugleich regulierendes Mittel verwendet. Deswegen konnte das Triebwerk ungewöhnlich klein hergestellt werden.



Neue äquatoriale Fernrohrmontierung, nach F. Meyer. Vgl. Text, S. 439.

Das Uhrwerk greift in einen am Stundenkreise befindlichen, mit einer feinen Zahnung versehenen Sektor oder Vollkreis ein, der vom Okular aus entweder fest mit der Stundenachse verbunden werden kann, so daß das Fernrohr der täglichen Bewegung folgt, oder der losgelöst wird, wenn man die Differenzen der Rektaszensionen durch die oben beschriebenen Durchgangsbeobachtungen bestimmen will. Die Wahl, welche von beiden Beobachtungsarten man anzuwenden hat, hängt in erster Linie von der Winkelentfernung der beiden Messungsobjekte ab.

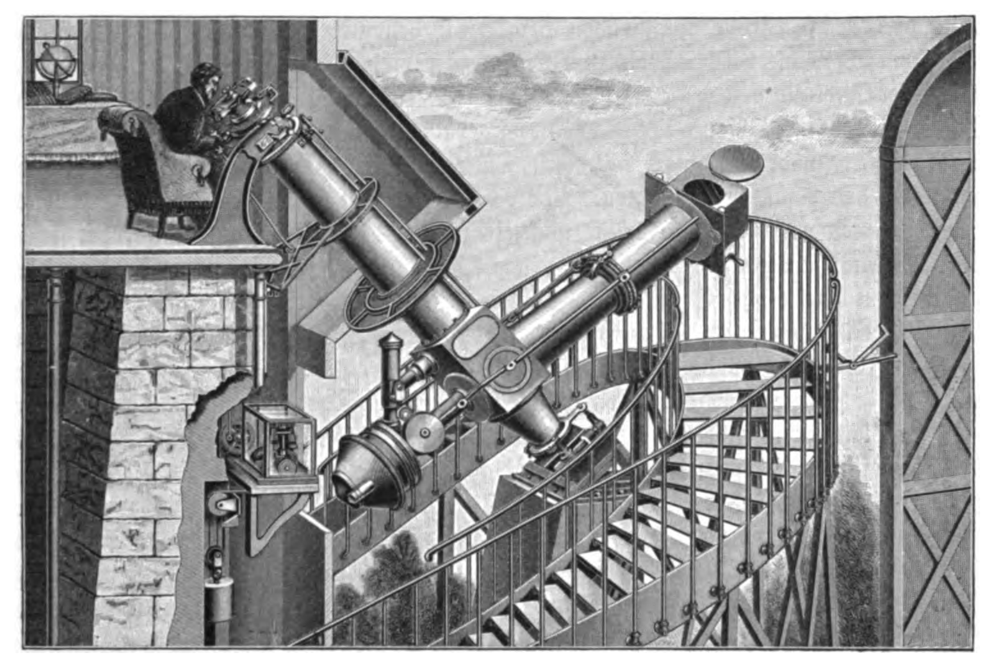
Die Methode der Messung der äquatorialen Längen- und Breitendifferenzen läßt unter Umständen einen so großen Abstand zwischen dem zu messenden Objekt und dem

Vergleichssterne zu, daß beide gar nicht gleichzeitig im Gesichtsfelde sichtbar zu sein brauchen. Es dürfen 5—10 Minuten zwischen dem Durchgange des einen und des anderen Objektes verfließen; nur die Breitendifferenz darf nicht größer sein als das Gesichtsfeld. Für die Ortsbestimmungen der Kometen und kleinen Planeten ist man oft gezwungen, bis auf so große Entfernung hin einen Vergleichsstern zu suchen, dessen Ort durch Meridianbeobachtungen genügend genau ermittelt worden ist, der sich also in den Sternverzeichnissen vorfindet. Von der Genauigkeit, mit welcher der Ort des Vergleichssternes bekannt ist, hängt selbstverständlich die Genauigkeit des Resultates der Differentialbeobachtung ab. Direkt sind die betreffenden Objekte selten im Meridiankreise zu messen, da sie zu lichtschwach sind. Bei ephemeren Körpern wie den Kometen würde man sich, auch wenn sie für den Meridiankreis erreichbar wären, ungern auf die wechselnde Witterung verlassen, welche die Messung im Augenblick des Meridiandurchganges vereiteln kann; oft auch findet der Meridiandurchgang zur Tageszeit statt. Die Methode der Positionswinkel- und Distanzmessung wird dagegen vorzugsweise bei nahe beieinander befindlichen Objekten, wie z. B. den Doppelsternen, angewandt, bei denen man überhaupt nur die relativen Ortsveränderungen des einen Sternes gegen den anderen, in der Regel des schwächeren Begleiters gegen den Hauptstern, untersuchen will. Für solche Zwecke bietet die letztere Methode eine weit größere Genauigkeit als die der Durchgangsbeobachtungen.

Die bisher beschriebenen und abgebildeten Äquatoriale sind nach sogenannter deutscher Art aufgestellt, d. h. in ihrer Mitte von einer vertikalen Säule unterstützt, auf der ihr ganzes Gewicht ruht. Diese Säule wird wenigstens bei mittleren Dimensionen des Instrumentes für Beobachtungen im Zenit unbequem, weil dann das Fernrohr sich sehr nahe an der Säule mit ihr parallel aufgerichtet findet. Zur Vermeidung dieses und anderer Übelstände ist die sogenannte englische Aufstellung erdacht worden, die z. B. der zehnzöllige Refraktor in Genf (s. Abbildung, S. 436) besitzt. Er ruht auf zwei Pfeilern, einem hohen im Norden und einem niedrigen im Süden. Die Richtung zwischen den beiden Achsenlagern dieser Pfeiler ist genau die nach den Himmelspolen. Zwischen ihnen dreht sich die Polarachse des Instrumentes, die in diesem Falle länger sein muß als das Instrument selbst. Sie ist zu vier eisernen Säulen ausgebildet, die zwischen sich in ihrer Mitte die Deklinationsachse tragen, an der sich nun erst das Fernrohr befindet. Mit Instrumenten dieser Aufstellung ist der Zenit sehr bequem zu beobachten, dagegen der Pol gar nicht, und auch in der Nähe des Poles wird der Beobachter durch den am Südpfeiler befindlichen Stundenkreis sehr gehindert.

Gemeinsam ist beiden Arten von Aufstellungen die Eigenschaft, daß das Okular eine beliebige Stelle auf der Fläche einer Halbkugel einnehmen kann, deren Durchmesser gleich der Länge des Instrumentes ist. Das Auge des Beobachters hat also, je nachdem er im Zenit oder im Horizont beobachtet, eine Höhendifferenz bis zu 9 m bei unseren modernen Riesenfernrohren zu überwinden. Man muß zu diesem Zweck Beobachtungsstühle konstruieren, die schließlich zu umfangreichen Treppenbauwerken wurden, die auf Schienen um das Instrument herumzufahren sind. Auf unserer Abbildung des Refraktors von Pulkowa bei S. 432 sind zwei solcher Beobachtungsstühle sichtbar, die in zwei verschiedenen Höhen das Instrument umkreisen können. Zur Vermeidung dieser schwerfälligen Einrichtungen hat man auf dem Lick-Observatorium und der Sternwarte der Urania zu Berlin hydraulische Hebevorrichtungen angewandt, die den ganzen Fußboden des Beobachtungsraumes

mit allen darauf befindlichen Utensilien auf eine Höhe bringen, die für die betreffende Beobachtung am bequemsten ist. Aber die maschinellen Vorrichtungen, die ein solcher Fahrstuhl namentlich für größere Instrumente bedingt, sind sehr kompliziert und teuer. Die Äquatoriale sind ohnehin äußerst kostspielige Instrumente. Der Zwölfzöller der Urania-sternwarte hat z. B. 50,000 Mark, der Lick-Refraktor 2—3 Millionen Mark gekostet. Man hat deshalb vielfach an andere Konstruktionsarten gedacht, die trotz der Länge des Fernrohrs dem Okular eine kleinere Bewegung vorschreiben. Beim Genfer Refraktor ist dies dadurch erreicht worden, daß man dem Fernrohr eine kanonenartige Gestalt gegeben hat, die nach dem Okular zu größer und schwerer wird. Die Deklinationsachse konnte so bei Erhaltung des



Das Ellbogen-Äquatorial des Pariser Observatoriums. Vgl. Text, S. 440.

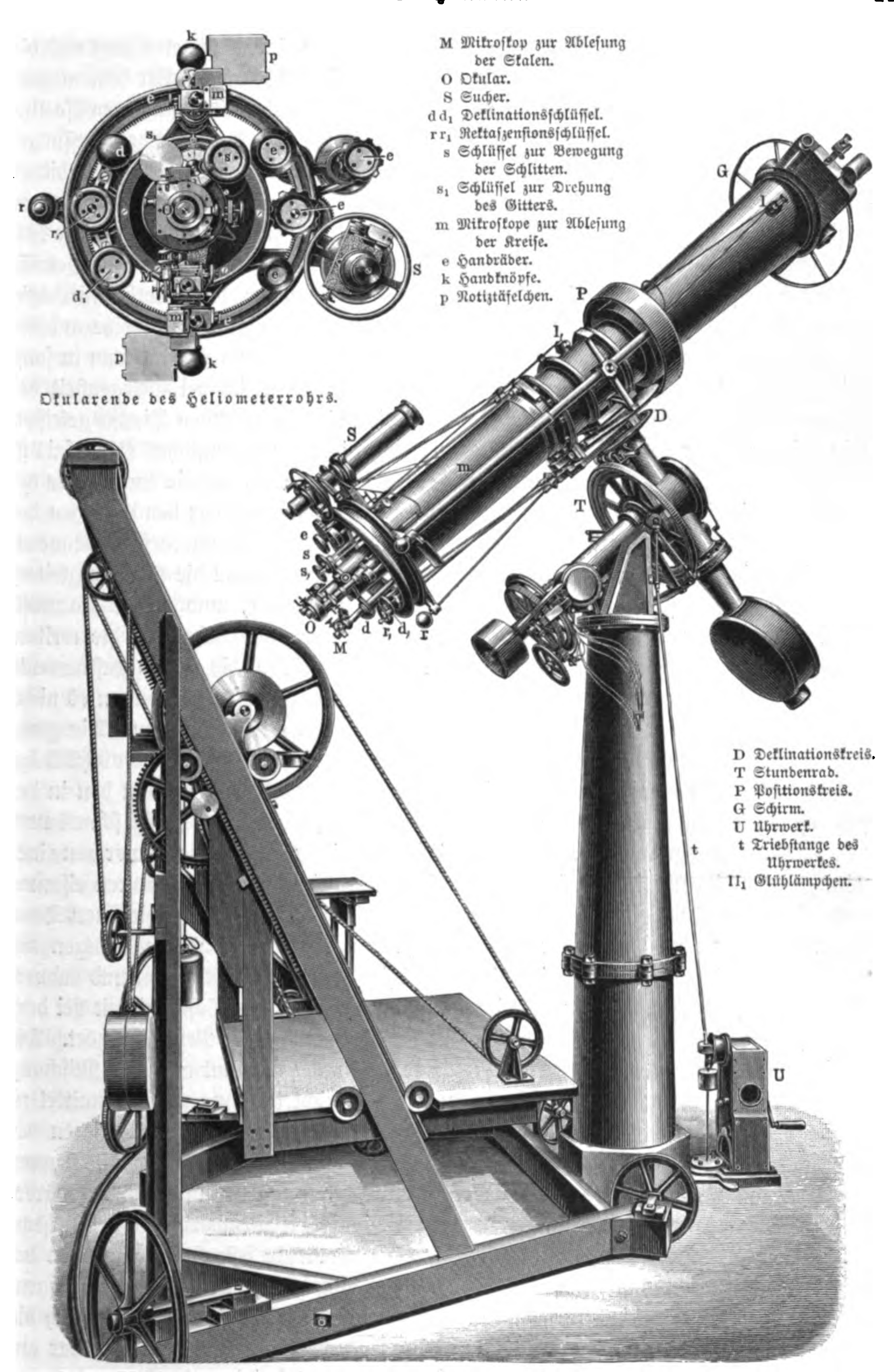
Gleichgewichtes beider Seiten in ein Drittel der ganzen Länge des Fernrohres angebracht werden, so daß das Okular nur einen halb so großen Kreis beschreibt wie das Objektiv.

In noch weit vorteilhafterer Weise ist es in neuerer Zeit F. Meyer von der Firma Carl Zeiß in Jena gelungen, ein äquatorial montiertes Fernrohr so aufzustellen, daß es nur einen sehr kleinen Schutzkuppel bedarf und doch den g a n z e n Himmel zu erreichen vermag. Die Zeichnung auf Seite 437 erläutert das neue Prinzip der Aufstellung. Der Weg vom Stützpunkte zum Okular konnte vermöge sinnreicher Anbringung von Gegengewichten sehr kurz ausgebildet werden. Fernrohr und Kuppel werden durch elektrischen Antrieb bewegt, und zwar geschieht dies automatisch durch Kontaktschluß, wie auf der Zeichnung zu ersehen. Da der Beobachtungsstuhl E an der Kuppel befestigt ist, so wird auch der Beobachter beständig bei der Arbeit den Sternen nachbewegt.

Noch bequemer macht es dem Beobachter das zuerst für die Pariser Sternwarte konstruierte Ellbogen-Äquatorial, „Equatorial coudé". An diesem bleibt das Okular überhaupt

fest; es ragt mit seinem Mikrometer und den übrigen zur Bewegung des Instrumentes nötigen Teilen in ein Zimmer hinein, und der Beobachter sitzt auf einem gewöhnlichen Stuhle vor dem Okular wie an einem Pult. Die Achse, an deren oberem Ende das Okular sich befindet, ist parallel mit der Richtung zwischen den beiden Himmelspolen, der sogenannten Weltachse. Diese Achse des Instrumentes ist so aufgestellt, wie es der englischen Art der gewöhnlichen Äquatoriale entspricht, auf einem hohen und einem niedrigen Pfeiler; sie bildet zugleich, wie beim Genfer Altazimut, den einen Teil des Fernrohres und ist nur um sich selbst drehbar; der andere Teil des Fernrohres befindet sich senkrecht auf dieser Achse außerhalb des Beobachtungsraumes. Wo die beiden Teile unten zusammentreffen, ist ein fein geschliffener ebener Metallspiegel fest angebracht, der nur dazu dient, die von dem Objektivteil des Fernrohrs kommenden Strahlen in dem zweiten Teile des Fernrohrs, der sich in der Weltachse befindet, bis zum Okular zu führen. Der Spiegel ist demnach unter 45° zu der Richtung beider Fernrohrteile geneigt befestigt. Während also das Okular zum Pol hinweist, ist das Objektiv auf den Äquator gerichtet, den es bei Drehung des Fernrohres seiner ganzen Ausdehnung nach bestreicht. Ohne weitere Vorkehrung könnte man also zunächst nur den Äquator beobachten. Vor dem Objektiv ist aber, durch einen metallenen Würfel so weit als möglich geschützt, noch ein zweiter Planspiegel angebracht, der sich in einer Richtung senkrecht zum Äquator neigen läßt und auf diese Weise von Sternen jeder äquatorialen Breite oder Deklination Strahlen durch das Objektiv werfen kann. Hierdurch beherrscht das Instrument den ganzen oder doch den größten Teil des Himmels. Unsere Abbildung (S. 439) gibt eine Ansicht des Pariser Instrumentes. Im Gegensatze aber zu der neuen Meyerschen Aufstellung ist ein „Ellbogenfernrohr" erheblich teurer als ein gewöhnliches und hat für gewisse Zwecke optische Nachteile, die ihre Ursache in der Anwendung der Spiegel und Prismen haben, die neue Fehlerquellen bieten und Licht absorbieren.

Auf einem ganz anderen Prinzip als bei den bisher beschriebenen Instrumenten beruhen die Messungen mit dem sogenannten Heliometer, das als feinstes Meßwerkzeug für die Bestimmung kleiner Winkel zwischen zwei zugleich im Gesichtsfelde sichtbaren Objekten gilt (s. Abbildung, S. 441). Seine Konstruktion gründet sich auf den Umstand, daß jeder Teil eines Objektivs ein vollständiges Bild für sich von einem Gegenstand entwirft. Wenn man also das Objektiv in zwei Hälften zerschneidet und diese gegeneinander verschiebt, so werden zwei Bilder des Gegenstandes entstehen, die ebensoviel voneinander abstehen, wie man die Objektivhälften verschoben hatte. Das Maß dieser Verschiebung gibt also zugleich ein Maß für den Winkelabstand zweier Punkte eines Objektes, die man auf den beiden Bildern desselben zur Deckung bringt. Will man z. B. den Durchmesser einer Planetenscheibe bestimmen, so verschiebt man die beiden Objektivhälften so lange, bis die sich trennenden Bilder der Planetenscheibe sich gerade noch mit ihren Rändern berühren und bestimmt dann die Verschiebung der Objektivhälften entweder durch die Umdrehungen einer Mikrometerschraube wie beim Äquatorial, oder man liest sie direkt an einem ebenen Maßstab mit Hilfe eines Mikroskopes M ab. Zu diesem Zweck ist an dem Schlitten, durch den sich die Objektivhälften verschieben, eine feine Teilung auf Silber angebracht. Um zwei beliebig orientierte Punkte immer zur Deckung bringen zu können, muß man nun noch das ganze Objektiv um die optische Achse des Fernrohrs drehen können, was vom Okular aus geschieht. Dadurch kann man zugleich den Positionswinkel ebenso bestimmen wie beim Mikrometer des gewöhnlichen Äquatorials. Im übrigen sind die Bewegungsvorrichtungen der beiden Arten



Heliometer von Repsold. Vgl. Text, S. 44).

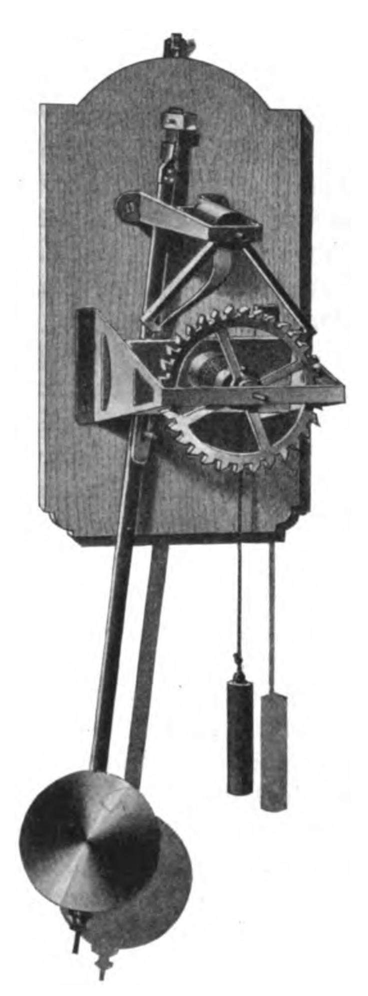
von Instrumenten die gleichen. Beim Heliometer fallen nur die Mikrometerfäden und die Beleuchtungsvorrichtungen dafür weg. Wie fein auch diese Fäden gewählt sein mögen, so bringen sie doch immer in die Messungen sehr kleiner Winkelabstände eine gewisse Unsicherheit hinein, die beim Heliometer vermieden wird. Dafür wird das Licht des Messungsobjektes auf die Hälfte reduziert, da man sein Gesamtlicht in zwei Teile trennt. Die bisher gebauten Heliometer sind gegenüber den Riesenäquatorialen der Neuzeit von bescheidenen Dimensionen, und sie werden es auch wohl in der Folge bleiben, da man sich schwer entschließen wird, ein gelungenes großes Objektiv in zwei Hälften zu zerschneiden. Gewisse Aufgaben der messenden Astronomie werden deshalb dem Heliometer, seiner verhältnismäßig geringen optischen Kraft wegen, unerreichbar bleiben, während eine ganze Reihe anderer Messungen, namentlich an der Sonne (denen es seinen Namen verdankt), mit ihm in sonst unerreichter Schärfe gelangen. So hat das Heliometer namentlich bei Gelegenheit der letzten Vorübergänge der Venus vor der Sonnenscheibe die vorzüglichsten Dienste geleistet.

Ein bei der bisher üblichen Aufstellung der Äquatoriale unumgängliches Bedürfnis ist der drehbare Dom, der sich über den Instrumenten wölben muß, um die Kunstwerke der Feinmechanik, die sich an allen Teilen des Instrumentes befinden, vor den Unbilden der Witterung zu schützen. Die Einrichtungen einer solchen Kuppel wären nicht mehr erwähnenswert als die übrigen baulichen Einrichtungen einer Sternwarte, wenn die Schwierigkeiten, die dieser Kuppelbau für die größeren Instrumente hervorruft, und damit die Kostspieligkeit nicht so sehr anwüchsen, daß sie ein empfindlicher Hemmschuh für die weitere Entwickelung des Fernrohres selbst geworden sind. Die Kuppeln für die großen Instrumente werden nach und nach teurer als die letzteren selbst, und eben deshalb wagte man es nicht, noch größere Fernrohre zu bauen, größere Linsen zu formen und zu schleifen. Die große Kuppel des Lick-Refraktors hat eine Höhe von nahezu 25 m und ein Gewicht von 90,262 kg. Dieses Gewicht soll in wenigen Minuten im Kreise herumgedreht werden, um den in der Kuppel befindlichen, nach Belieben zu öffnenden und zu schließenden Schlitz schnell nach jeder Himmelsrichtung zu wenden. Mag auch die dazu nötige Kraftleistung immer von einer Maschine zu überwinden sein, so tritt doch für die Konstruktion solcher ungeheuren eisernen Kuppeln die große Schwierigkeit ihrer verschiedenen Ausdehnung bei verschiedenen Temperaturen auf; der nötige, aber oft fehlende Spielraum bringt leicht Hemmungen des Bewegungsmechanismus hervor, so daß die Kuppel sich gelegentlich festklemmt und dadurch jede Beobachtung unmöglich macht. In interessanter Weise ist diese Schwierigkeit bei dem großen Refraktor zu Nizza gelöst, der zu den Rieseninstrumenten der Neuzeit gehört. Die Kuppel ist von dem Erbauer des Eiffelturmes konstruiert und schwimmt auf einer Mischung von Wasser und Glyzerin; sie ist infolgedessen auf das leichteste ohne alle Hilfsmittel zu bewegen. Nizza erfreut sich glücklicherweise eines Klimas, für das ein Einfrieren der Kuppel nicht zu befürchten ist; in unseren Breiten müßte man aber schon eine solche Kuppel auf Quecksilber schwimmen lassen, was wiederum ihre Kosten ungemein vergrößern würde.

Wie wir bereits bemerkt haben, gehört zu den wichtigsten Meßwerkzeugen des Astronomen seine Uhr. Er braucht sie nicht nur, um die Momente festzulegen, in denen bestimmte Stellungen der Gestirne stattfinden, sondern auch zu direkten Winkelmessungen. Am Äquatorial mißt man die Unterschiede des Stundenwinkels zweier Gestirne durch die Zeit, die zwischen ihren Durchgängen hinter dem Fadensystem verstreicht; auch der am Meridiankreise beobachtete Eintritt eines Gestirnes in den Meridian, in Sternzeit, gibt

unmittelbar seinen Winkelabstand vom Frühlingspunkte an, d. h. seine äquatoriale Länge in Zeit ausgedrückt. Dieselbe peinliche Sorgfalt, die der Beobachter auf die Ermittelung der Fehler seines Fernrohres verwendet, muß deshalb auch den Fehlern der Uhr gewidmet werden.

Bei den hier in Betracht kommenden Präzisionsuhren dient ausschließlich als regulierendes Prinzip der Ausschlag eines schwingenden Pendels, d. h. eines Stabes, der an einem Ende beschwert, an dem anderen dagegen möglichst frei beweglich aufgehängt wird. Bringt man diesen Stab aus seiner lotrechten Ruhelage und läßt ihn unter dem Einfluß der Schwere frei schwingen, so müssen diese Schwingungen unter allen Umständen bei jedem Pendel von unveränderlicher Länge in vollkommen gleichen Zeitabschnitten erfolgen, wenn die das Pendel in Bewegung setzende Schwerewirkung konstant bleibt. Dies ist eine theoretische Notwendigkeit, die nicht von irgendwelchen vorher angestellten, auf Zeitmessung beruhenden Untersuchungen abhängig ist. Nun kann uns der Physiker weiter beweisen, daß in der Tat die Schwerewirkung an einem bestimmten Punkte der Erdoberfläche die unveränderlichste Konstante ist, die wir im ganzen Bereiche des Naturgeschehens überhaupt kennen. Das Pendel ist also das eigentliche Zeitmeßinstrument des Astronomen, und wir werden sehen, wie viele wunderbare Errungenschaften auf seinem Forschungsgebiet er der unausgesetzten peinlichsten Beobachtung der Schwingungen des Pendels verdankt. Alle übrigen Teile der Normaluhr sind nur Nebenwerk, das die Aufgabe hat, die Anzahl der erfolgten Schwingungen zu zählen. Um hier Reibungswiderstände und Fehlerquellen anderer Art nach Möglichkeit zu vermeiden, ist die astronomische Uhr so einfach wie möglich eingerichtet; ja es gibt sinnreiche Konstruktionen, die ganz ohne Räder arbeiten. Das Zählen der Schwingungen läßt sich in der Tat ganz leicht ohne Räder bewerkstelligen. Das Pendel hängt man an einem Stück Uhrfeder auf, dessen Elastizität die Schwingungen ermöglicht; befestigt man nun oben an der Pendelstange ein kleines Querstück, das in einer senkrecht verlaufenden Spitze endigt, und bringt unabhängig vom Pendel ein Näpfchen mit Quecksilber derart an, daß jene Spitze bei jeder Pendelschwingung in das Quecksilber eintauchen muß, so lassen sich dadurch elektrische Kontakte erzeugen, die direkt auf den oben beschriebenen Chronographen wirken und dort auf dem vorbeirollenden Papierstreifen die Sekundenpunkte hervorbringen.



Die Pendeluhr.

Unsere Aufgabe wäre damit gelöst, wenn nicht die Bedingung hinzukäme, daß der unvermeidliche Verlust des Pendels an lebendiger Kraft, der durch den Luftwiderstand und die Hemmungen im Mechanismus selbst hervorgebracht wird, ersetzt werden müßte, wozu bei den gewöhnlichen Uhren bekanntlich die Gewichte dienen. Die über eine Trommel

gewickelte Schnur, an der das Gewicht hängt, sucht diese Trommel, beziehungsweise das sogenannte **Steigrad** zu drehen. Dieses ist mit langen Zähnen versehen, in die eine oben am Pendel befindliche Doppelnase derart eingreift, daß bei jeder seiner Schwingungen immer nur ein Zahn durchschlüpfen kann, wodurch also die Uhr die Schwingungen zählt. Gleichzeitig aber übt das Steigrad, vermöge des an ihm ziehenden Gewichtes, einen Gegendruck auf die Nase des Pendels und gibt ihm dadurch jedesmal einen kleinen Impuls, der genügt, um seinen Kraftverlust zu ersetzen. Immerhin werden hierdurch Reibungen erzeugt, die infolge von Verstaubung, Dickwerden des notwendigen Öles u. s. w. Unregelmäßigkeiten im Gange erzeugen.

Eine fortdauernde Hemmung aber erfährt die Schwingung des Pendels durch die umgebende **Luft**. Sie hat zwar unmittelbar keinen Einfluß auf die Genauigkeit der Zeitmessungen, so lange sie vollkommen gleichmäßig wirkt, denn dem Astronomen kommt es nicht darauf an, daß seine Uhr immer die genaue Zeit angibt. Er verlangt von seiner Uhr nichts weiter als völlige Gleichmäßigkeit des Ganges. Um diese zu bewahren, stört er die Uhr so wenig wie möglich; er stellt sie niemals richtig, sondern führt über ihren täglichen Stand Buch und berücksichtigt ihn für seine Beobachtungen und Rechnungen. Der täglich im Uhrbuch für den Augenblick des Mittags notierte Uhrstand gegen die richtige Zeit soll sich in gleichen Zeitintervallen um die gleiche Größe ändern; der **tägliche Gang** soll konstant sein. Dessen Größe ist für die Zwecke der astronomischen Praxis eigentlich gleichgültig, und nur aus Bequemlichkeitsrücksichten sucht man ihn klein zu erhalten. Die Abweichungen der Uhrgänge untereinander, mathematisch ausgedrückt die zweiten Differenzen der Uhrstände, die man in der Praxis die **tägliche Variation** der Uhr nennt, sollen dagegen möglichst klein bleiben. Bei einer guten astronomischen Uhr darf die Variation $0{,}05^s$ nicht überschreiten. Die besten bekannten Uhren ergaben durchschnittlich Variationen von nur $0{,}02^s$—$0{,}03^s$.

So geringe Unregelmäßigkeiten bleiben jedoch nur übrig, wenn man die schwankenden Einflüsse der umgebenden Atmosphäre auf den Uhrgang berücksichtigt. Eine stets gleichmäßig dichte Luft würde nur den Uhrgang beständig in gleichem Sinne beeinflussen. Eine Uhr im lufterfüllten Raume geht langsamer als eine solche, die man im luftleeren Raume schwingen läßt. Aber die Dichtigkeit der Luft schwankt, wie das Barometer täglich beweist, und mit ihr der Uhrgang. Erweist sich dieser Einfluß auch gering, so muß er doch meist aus einer sehr langen Reihe von Beobachtungen bestimmt und gebührend berücksichtigt werden.

In viel erheblicherer Weise als die Luftdruckschwankungen beeinflussen den Uhrgang die Schwankungen der **Temperatur** der umgebenden Luft. Die Schwingungszeit eines Pendels hängt nur von seiner Länge ab; diese verändert sich aber durch die verschiedene Ausdehnung seiner Metallteile infolge von Änderungen der Temperatur. Man muß das Pendel hiergegen **kompensieren**, indem man es aus verschiedenen Metallen derart zusammensetzt, daß die Gesamtlänge eines solchen **Rostpendels** sich innerhalb der vorkommenden Lufttemperaturen so wenig wie möglich ändert. Eine vollkommene Kompensation wird man aber auch hier nicht erreichen können, sondern man muß den übrigbleibenden Einfluß der Temperatur gleichfalls bestimmen und in Rechnung ziehen. Es gibt auch Pendel, an deren Stange in sinnreicher Weise ein Barometer angebracht ist, das seine Schwingungen mitmacht und durch die Schwankungen seiner Quecksilbersäule bei Veränderung des Luftdruckes den Schwerpunkt des Pendels derart verlegt, daß hierdurch

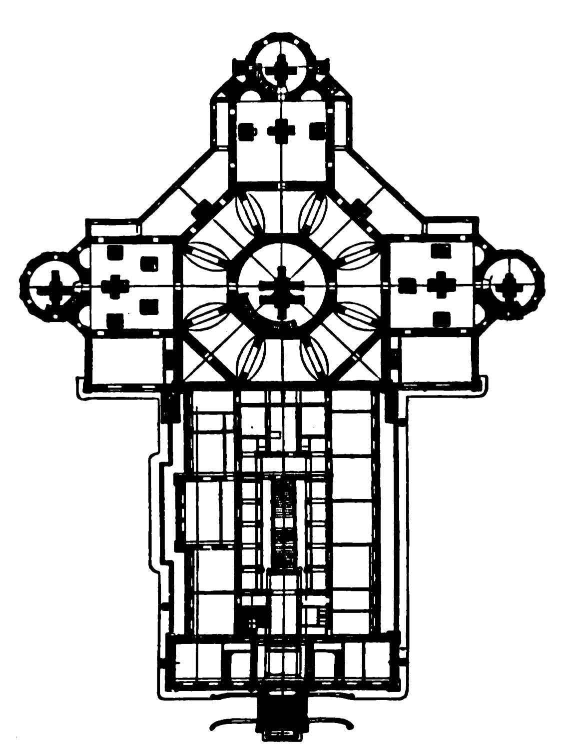
eine Kompensation auch gegen diese Schwankungen erreicht wird. Am besten aber schützt man sich gegen diese und andere zufällige Einflüsse dadurch, daß man die Uhr in einem Glasgehäuse hermetisch verschließt. Es ist das natürlich nur bei solchen Uhren möglich, die entweder nicht aufgezogen zu werden brauchen, also den notwendigen Impuls durch einen elektrischen Draht erhalten, der in die Glaswand eingeschmolzen ist, oder bei denen der Zutritt von Luft beim Aufziehen durch luftdicht schließende Stopfbüchsen verhindert werden kann. Eine solche Uhr existiert auf der königlichen Sternwarte zu Berlin. Auch gegen die oft sehr plötzlichen Temperaturschwankungen unseres Klimas muß die Normaluhr nach Möglichkeit geschützt werden; man pflegt sie deshalb in Kellergewölben unterzubringen, während in der Nähe der verschiedenen Instrumente der Sternwarte sich Zifferblätter befinden, die durch Schließung der elektrischen Kontakte der Normaluhr getrieben werden; auch stellt man hier wohl etwas weniger gute Uhren auf, die dann vor und nach jeder wichtigeren Beobachtung mit der Normaluhr verglichen werden.

Zeitmesser, die nicht durch ein Pendel, sondern durch eine sogenannte Unruhe, wie sie sich an jeder Taschenuhr findet, reguliert werden, wendet man im Dienste der Sternwarte fast gar nicht an, da die Pendeluhren ihnen an Sicherheit und an Stetigkeit des Ganges unbedingt überlegen sind. Aber es gibt astronomische Aufgaben außerhalb der Sternwarte, bei denen eine Pendeluhr überhaupt nicht angewendet werden kann, da sie eine absolut erschütterungsfreie Aufstellung erfordert, weswegen die Sternwartennormaluhren stets auf einem besonders und unabhängig vom Gebäude fundierten Pfeiler aufgestellt werden. Namentlich für die Zwecke der Schiffahrt sind deshalb Pendeluhren unverwendbar; man bedient sich dort der sogenannten Schiffs- oder Borchronometer, die im wesentlichen wie unsere Taschenuhren eingerichtet sind. Als regulierendes Prinzip dient hier die Elastizität einer Spiralfeder. Durch deren Zusammenziehung und Ausdehnung dreht sich ein Rädchen, die Unruhe, hin und wieder zurück und läßt dadurch, ebenso wie bei der Pendeluhr, das Steigrad jedesmal um einen Zahn weiter gehen. Solche Uhren werden wie die durch Pendel regulierten von den Schwankungen des Luftdruckes und der Temperatur beeinflußt. Letztere dehnt die Unruhe in verschiedenem Maße aus und setzt dadurch der Arbeit der Spiralfeder verschiedenen Widerstand entgegen; sie muß deshalb gleichfalls durch die Gegenwirkung der verschiedenen Ausdehnungsfähigkeit mehrerer Metalle kompensiert werden.

Erreichen derartige Uhren auch eine bewundernswürdige Genauigkeit, so sind sie doch weit mehr störenden Einflüssen ausgesetzt als die fest stationierten Pendeluhren; sie sollen in Erfüllung ihrer Aufgaben weite Reisen ausführen, bei denen sie unvermeidlich Erschütterungen ausgesetzt sind. Man umgibt sie zwar mit einer sogenannten cardanischen Aufhängung, so daß das Uhrwerk immer in horizontaler Lage bleibt, wie auch der Chronometerkasten hin und her geschaukelt werden mag; gleichwohl aber wird man die Uhr niemals vor kleinen Erschütterungen, wie solchen etwa ein Dampfer durch die Schiffsschraube beständig ausgesetzt ist, vor dem Eindringen von Feuchtigkeit und den unberechenbaren Einflüssen extremer Temperaturen bewahren können. Zeigt deshalb auch ein Schiffschronometer während der Prüfungen, die er auf der Sternwarte zu bestehen hat, einen noch so gleichmäßigen Gang, so kann er doch gerade zu einer verhängnisvollen Zeit, zu der man sich auf hoher See bei schlechtem Wetter auf seine Angaben allein verlassen muß, sehr bedenkliche Sprünge machen. Selbstverständlich muß er schon vorher innerhalb aller vorkommenden Lufttemperaturen auf der Sternwarte untersucht worden sein; auf der

Hamburger Seewarte ist man aber noch einen Schritt weiter gegangen und hat eine umfangreiche Maschinerie, einen Schaukelapparat, ersonnen, auf dem die Chronometer während ihrer Prüfungszeit ähnlichen Bewegungen ausgesetzt werden wie auf hoher See.

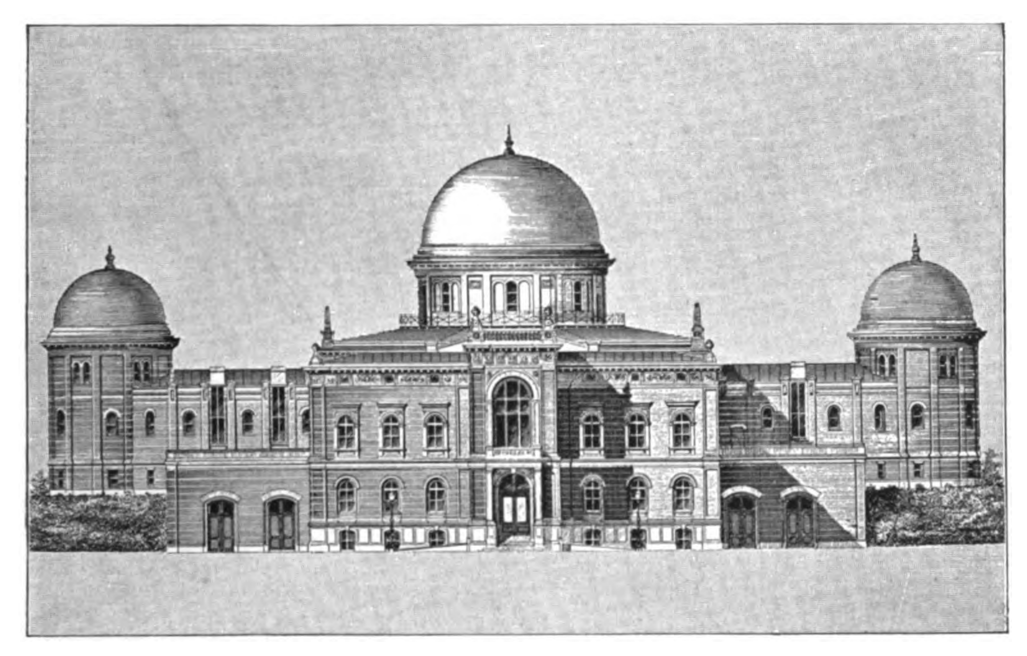
In welcher Weise die astronomischen Uhren zu Messungszwecken verwendet werden, erhellt größtenteils aus dem Vorangegangenen. Für die Äquatorialbeobachtungen braucht man nur Zeitdifferenzen, die unmittelbar die Unterschiede der Rektaszensionen angeben; die verwendete Uhr braucht deshalb nur in der Zwischenzeit der Beobachtung des Vergleichssternes und der des Messungsobjektes einen gleichmäßigen, bekannten Gang zu haben. Da die erwähnte Zwischenzeit selten mehr als 10 Minuten beträgt, so verschwinden kleine Schwankungen des täglichen Uhrganges hier fast ganz im Resultat. Der genaue Uhrstand braucht außerdem gar nicht bekannt zu sein; man wendet ihn nur an, um bei beweglichen Objekten, wie den Kometen, angeben zu können, für welchen Augenblick die gefundene Stellung des bewegten Gestirnes zu den Fixpunkten des Himmelsgewölbes stattfand, und hierfür ist in fast allen Fällen eine Unsicherheit von einigen Sekunden unschädlich. Für Differentialbeobachtungen braucht man also keine Uhr von großer Präzision anzuwenden.



Grundriß der Wiener Sternwarte. Vgl. Text, S. 450.

Anders ist es bei den absoluten Bestimmungen am Meridiankreis. An diese werden zweierlei Aufgaben gestellt, zu deren Lösung man der besten Leistungen der Uhr unbedingt bedarf. Entweder sollen die Äquatorlängen von Sternen, d. h. ihr Winkelabstand vom Frühlingspunkt, bestimmt werden, für welchen Zweck man den Durchgangsmoment dieses Punktes nur durch die Angaben der Uhr erhalten kann, oder man will umgekehrt die Angaben der Uhr prüfen, indem man die Meridiandurchgänge solcher Sterne bestimmt, deren Winkelabstand vom Frühlingspunkte mit vollkommener Sicherheit bekannt ist. Absolut genommen, kann nur die eine oder die andere Aufgabe erledigt werden: entweder sind die Örter der Sterne bekannt, und man verläßt sich darauf, daß dieselben keinen unberechenbaren Schwankungen unterworfen sind; dann kann man nach ihren Durchgängen die Uhrkorrektion bestimmen. Oder man verläßt sich auf die Uhr und folgert aus dem Durchgange des Sternes und der bekannten Uhrkorrektion den Ort des Sternes oder seine Veränderung. Es ist dies in der Tat ein Dilemma, aus dem man sich nur dadurch zu winden vermochte, daß man eine kleine Anzahl von sogenannten Fundamentalsternen auswählte, die Jahrzehnte hindurch auf den verschiedensten Sternwarten beobachtet wurden, um ihre

Lage aus dem Durchschnitt vieler Tausende von Beobachtungen, die unter den verschiedensten Bedingungen mit den verschiedensten Instrumenten, Uhren, Beobachtern u. s. w., ausgeführt wurden, möglichst fehlerfrei zu erhalten. In den astronomischen Jahrbüchern sind die Örter dieser Fundamentalsterne verzeichnet, und nur diese werden auf allen Sternwarten der Erde in einheitlicher Weise benutzt, um aus ihren Durchgängen im Meridiankreise die jedesmalige Korrektion der Normaluhren zu bestimmen. Man nennt solche Operationen Zeitbestimmungen. Sie bestehen ihrem Wesen nach darin, daß zunächst die Instrumentalfehler des Meridiankreises bestimmt werden, und dann an dem Instrumente eine entsprechende Anzahl von Durchgängen von Fundamentalsternen beobachtet wird. Ist

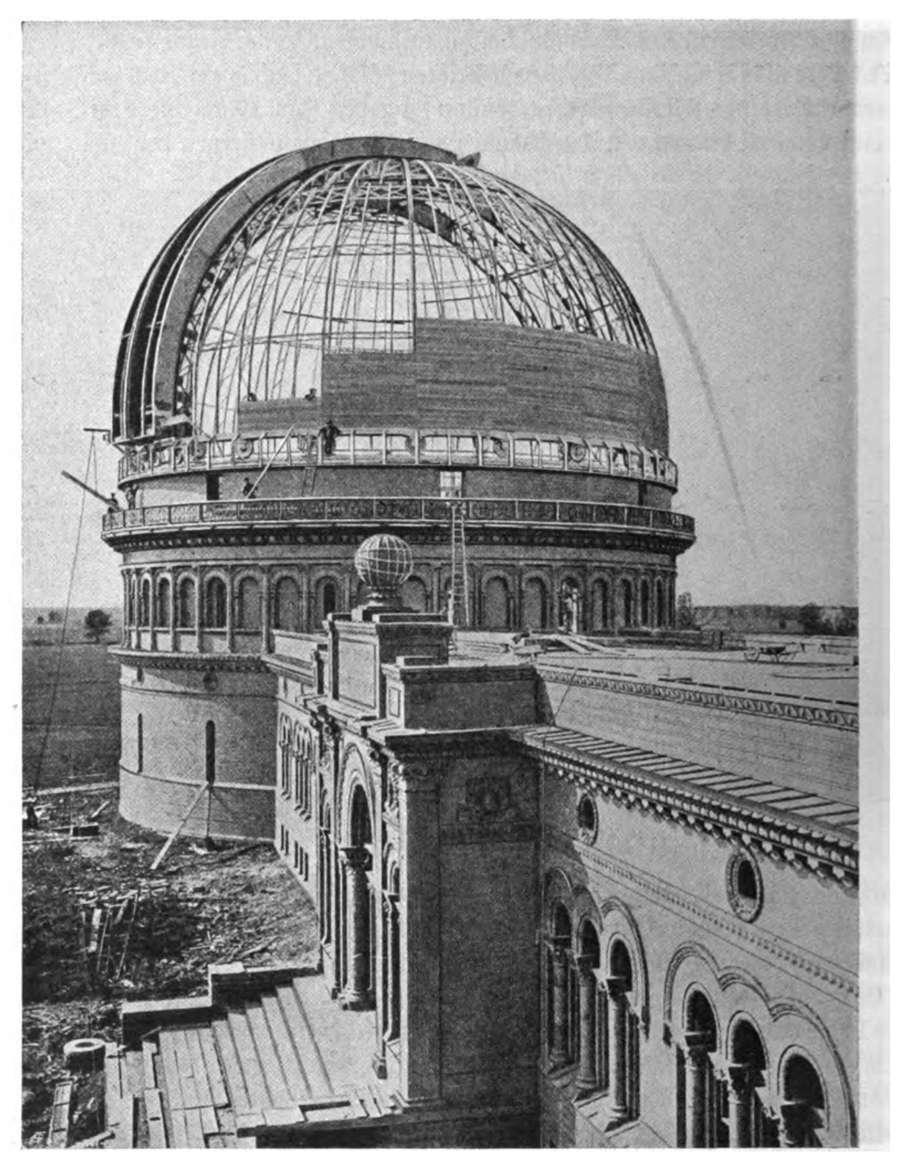


Hauptansicht der Wiener Sternwarte. Vgl. Text, S. 450.

die Uhrkorrektion bekannt geworden, so kann man aus den Durchgängen anderer Sterne umgekehrt deren Äquatorlängen ableiten, die sich somit stets auf das System der Fundamentalsterne beziehen, also strenggenommen auch nur relative Messungen sind.

Es erübrigt nun noch, einiges über die Einrichtungen einer Sternwarte im allgemeinen zu sagen, in der die verschiedenen Instrumente zweckentsprechend unterzubringen sind. Das Äußere der Sternwarten hat im Laufe des vergangenen Jahrhunderts gegen den früheren Gebrauch wesentliche Änderungen erfahren. Während man ehedem möglichst hohe Gebäude errichtete, Türme baute, um darin die Instrumente aufzustellen, sucht man diese heute fest mit dem Erdboden zu verbinden und demzufolge möglichst niedrig zu montieren. Die Sternwartentürme hatten den Zweck, den Beobachter über die Dünste der unteren Luftschichten zu erheben, und sie mochten in dieser Hinsicht wohl dienlich sein; seit aber die Anforderungen an die Präzision der Messungen so sehr gestiegen sind, muß man hierauf verzichten, weil kein hohes Gebäude genügend erschütterungsfrei hergestellt werden kann. Um den an der Erdoberfläche lagernden Dünsten nach Möglichkeit zu entgehen,

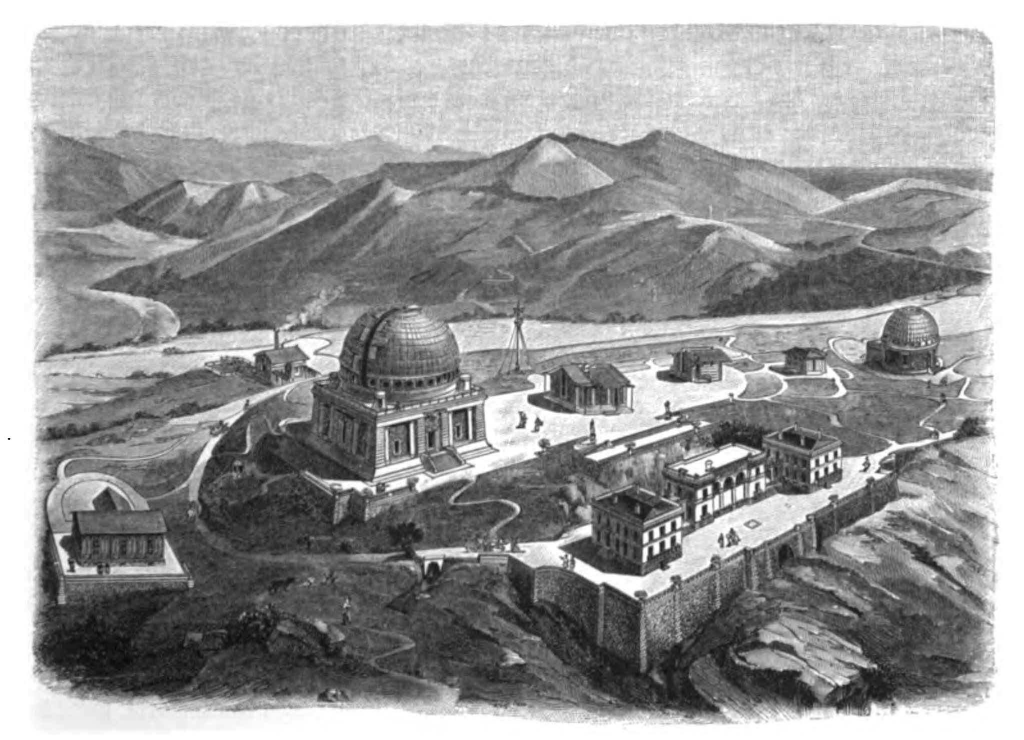
muß man zunächst ihren hauptsächlichsten Quellen, den Städten, entfliehen und die Sternwarten auf Anhöhen errichten. Im übrigen wird man, soweit es zu vermeiden ist, die Gestirne nicht in der Nähe des Horizontes beobachten, um den unberechenbaren lichtbrechenden Einflüssen der unteren Luftschichten auszuweichen.



Die Kuppel der Yerkes-Sternwarte. Nach Photographie. Vgl. Text, S. 450.

Im besonderen wird man den Meridiankreis, das feinste aller astronomischen Präzisionsinstrumente, immer zu ebener Erde aufstellen. Die Umfassungsmauern des umgebenden Raumes, Meridiansaal genannt, müssen von Norden nach Süden durchschnitten und das Dach über diesem Spalt offen sein, um dem Fernrohr den Ausblick in der Meridianebene

zu gestatten. Selbstverständlich sind alle diese Öffnungen durch Klappen verschließbar, damit das kostbare Instrument vor den Unbilden der Witterung geschützt werden kann. Es muß ferner bei der Konstruktion des Gebäudes dafür Sorge getragen werden, daß die Temperatur des Meridiansaales mit der der äußeren Luft sich möglichst schnell und vollständig ausgleicht, weil sonst wiederum Lichtbrechungen stattfinden, die sich der Rechnung entziehen, und weil die Fehler des Instrumentes sich zu schnell verändern würden, wenn die Temperatur seiner Metallteile sich während der Beobachtung wesentlich ändert. Diese Notwendigkeit gleicher Temperatur des Beobachtungsraumes mit der Außenluft kann unter



Die Sternwarte auf dem Mont Gros bei Nizza. Vgl. Text, S. 450.

Umständen harte Anforderungen an die Energie des Astronomen stellen, der hier oft bei schneidender Kälte unter seinem Fernrohr ganze Nächte hindurch, Sekunden zählend und Zahlen schreibend, zubringen muß. Um dieser Anforderung des Temperaturausgleiches möglichst genügen zu können, pflegt man gegenwärtig den Meridiankreis in einem besonderen, von den übrigen Gebäuden ziemlich weit getrennten Meridianhaus unterzubringen, das ganz leicht aus Wellblech mit Holzverschalung aufgebaut ist.

Die Äquatoriale etwas über dem Niveau des Erdbodens aufzustellen, wird wegen der Umgebung in den meisten Fällen unvermeidlich, weil sonst in der Nähe befindliche Gebäude, Baumgruppen u. s. w. einen zu großen Teil des Himmels verdecken würden. Da an die Instrumente dieser Art nicht so strenge Anforderungen betreffs ihrer Stabilität gestellt werden, kann man es sich erlauben, sie in der Höhe eines zweiten oder dritten Stockwerkes entweder auf einem durchgehenden massiven Pfeiler oder auf einem sehr soliden Gewölbe zu

montieren. Die letztere Bauart, bei der man einen schönen Kuppelraum unter dem Refraktor gewinnt, ist jedoch bei sehr großen Instrumenten wegen ihres ungeheuern Gewichtes nicht mehr anzuwenden.

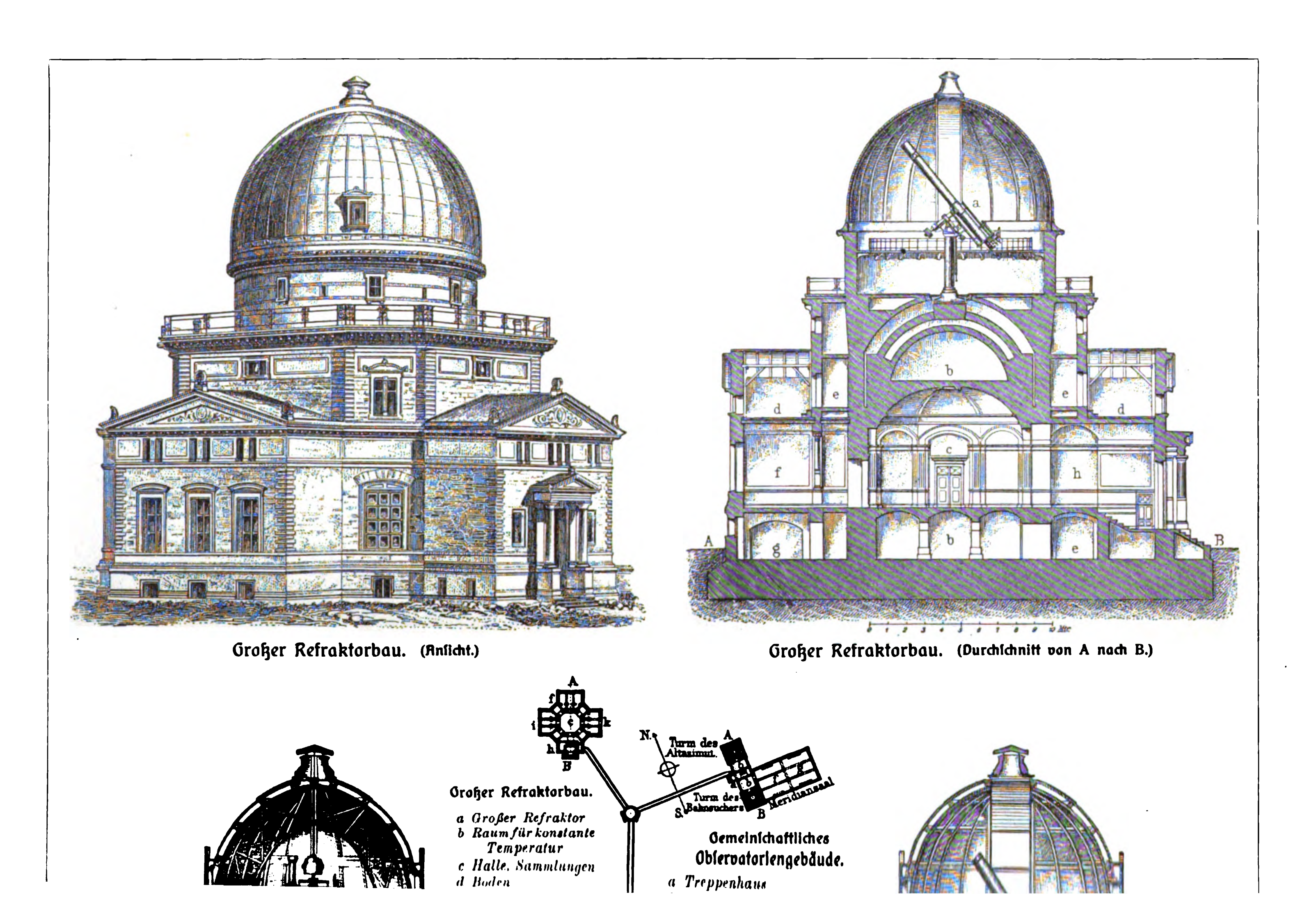
Die größten in dieser Weise aufgestellten Fernrohre werden der Achtzehnzöller der Straßburger und der Zwölfzöller der Urania-Sternwarte zu Berlin sein. Der letztere hat ohne die umgebende Kuppel schon ein Gesamtgewicht von 4358 kg; das Gewölbe, das diese Last trägt, wird von acht tief fundierten Pfeilern unterstützt, die in massiver Aufführung je 3—4 qm Grundfläche bedecken. Vom Straßburger Äquatorialhause sowie von anderen Teilen dieser Sternwarte geben wir hier einen Querschnitt (s. die beigeheftete Tafel). Wir sehen daraus, daß der Bau drei Kuppelräume übereinander enthält; der mittlere (b) ist innen noch mit einem besonders dicken Gewölbe ausgestattet, das außer zwei Türen keinerlei Öffnung hat. Auf diesen Raum werden deshalb Temperaturschwankungen nur sehr langsam wirken; er ist als ein im ersten Stockwerk gelegener Kellerraum anzusehen, der vor den tiefgelegenen Kellern den Vorzug der Trockenheit hat. Hier werden die Normaluhren der Sternwarte aufbewahrt, die mit den Beobachtungsräumen in elektrischer Verbindung sind. Man betritt diesen Raum deshalb nur, um die Uhren aufzuziehen, also wöchentlich einmal. Aus dem Grundriß der Wiener Sternwarte (s. Abbildung, S. 446) ersehen wir, daß der große mittlere Kuppelraum noch von drei kleineren umgeben ist, in denen verschiedenartige Instrumente untergebracht sind. Für diese Sternwarte hat man einen imposanten Monumentalbau (s. Abbildung, S. 447) errichtet, der alle nötigen Räume, einschließlich der Dienstwohnungen, enthält. Ein Bild eines Teiles der Yerkes-Sternwarte, von deren Tätigkeit wir hier so häufig zu berichten hatten, geben wir aus einer Zeit (Oktober 1896), als die mächtige Kuppel noch im Bau begriffen war (s. Abb., S. 448).

In neuerer Zeit zieht man es indes vor, wenigstens die Hauptinstrumente in besonderen Gebäuden unterzubringen, wie der Plan der Straßburger Sternwarte zeigt. Rechts befindet sich das Meridianhaus, das in seinem Vorderbau noch zwei Kuppeln aufgenommen hat, die eine für das Altazimut, die andere für einen kleineren Refraktor. Links erhebt sich das Äquatorialhaus; das Wohnhaus ist von beiden ganz getrennt, doch verbinden gedeckte Gänge die drei Gebäude miteinander. Noch extremer verfuhr man auf der Sternwarte des Harvard College in Cambridge (Nordamerika). Die Cambridger Sternwarte, wohl die vielseitigst ausgestattete unter allen, nimmt sich wie eine kleine Stadt aus eisernen, eigentümlich gebauten Hütten aus. Die Ausstattung des Instituts an Instrumenten verdankt es ausschließlich der Freigebigkeit von Privaten, und so hat jedes Instrument, das neu hinzukam, sein eigenes Häuschen erhalten. Endlich fügen wir noch (S. 449) ein Bild der Sternwarte von Nizza bei, die gleichfalls aus einzelnen Gebäuden für jedes Instrument besteht.

---

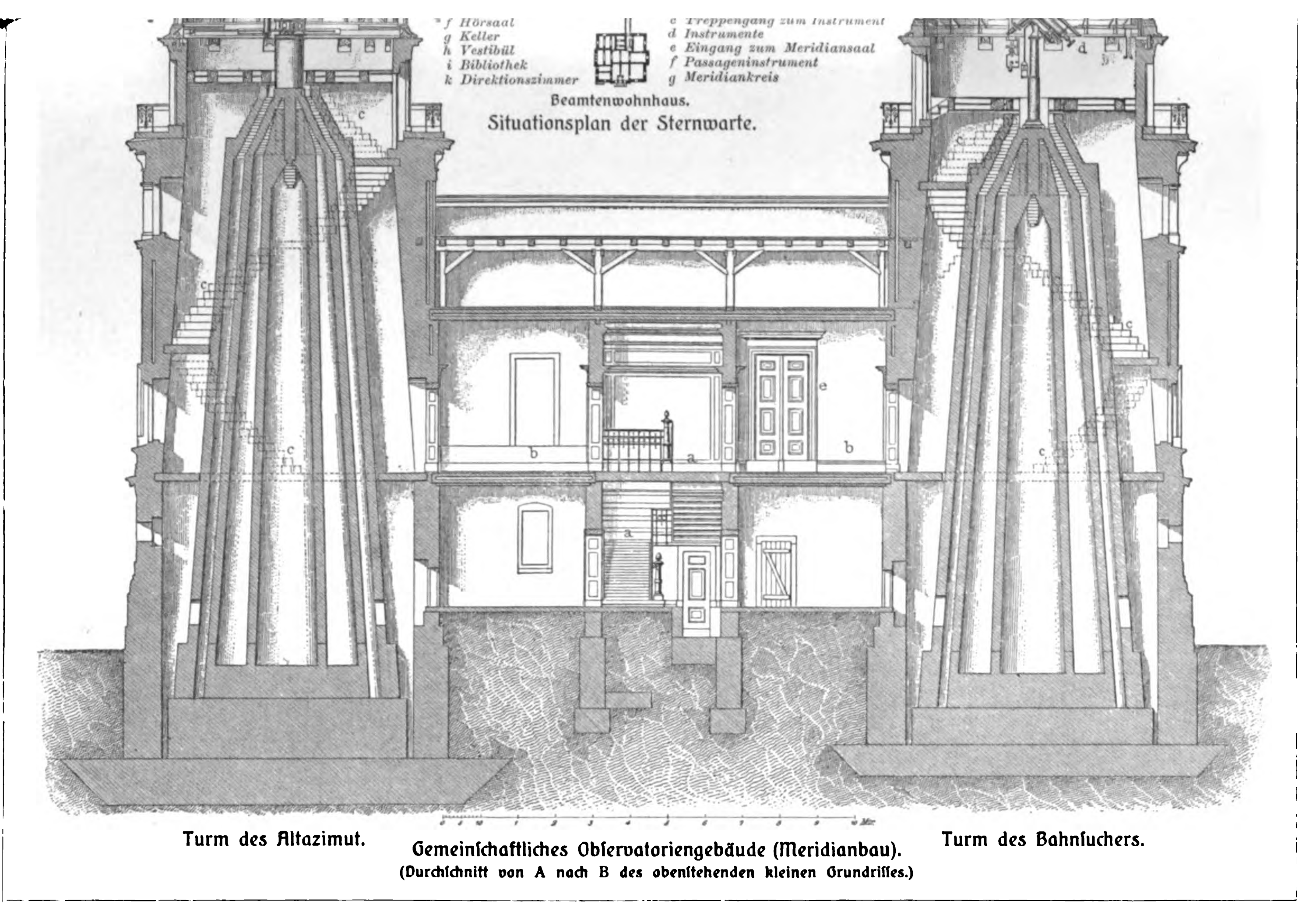
2. Die Gestalt und Größe der Erde.

Wenn wir mit dem Meridiankreise die Bewegungen der Gestirne weiter verfolgen, so finden wir am Instrument bestätigt, daß die Sterne sich so um einen festen Punkt zu drehen scheinen, als seien sie an ein umschwingendes Himmelsgewölbe geheftet, denn jeder Fixstern kehrt genau nach 24 Stunden Sternzeit wieder in den Meridian zurück. Dabei steht der Drehungspunkt des Firmamentes, der Himmelspol, in bezug auf den Horizont eines



Großer Refraktorbau. (Ansicht.)

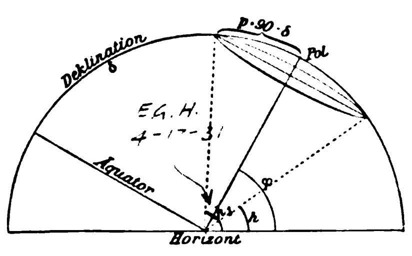
Großer Refraktorbau. (Durchschnitt von A nach B.)



Die Sternwarte der Kaiser Wilhelms-Universität zu Straßburg.

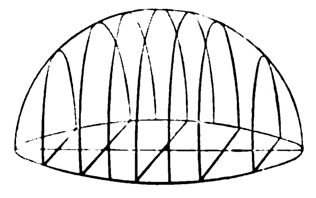
Beobachtungsortes absolut still. Am Meridiankreise wird dies durch die sogenannten Polhöhenmessungen auf das genaueste ermittelt. Man mißt hierfür die Höhe eines in der Nähe des Pols befindlichen Sterns, sobald er durch den Meridian geht, in der oben beschriebenen Weise (s. S. 426) und wiederholt die Messung, sobald der Stern nach 12 Stunden wieder den Meridian passiert; denn die in der Nähe des Poles befindlichen Sterne haben im Laufe des Tages zwei sichtbare Kulminationen, die obere, südlich vom Pol, und die untere, nördlich davon, weil bei ihnen der ganze Umkreis ihrer täglichen Bewegung über dem Horizonte liegt.

Bei seiner oberen Kulmination ist die gemessene Höhe des Sterns gleich der Polhöhe, d. h. der kürzesten Winkelentfernung des Poles vom Horizont, vermehrt um die Poldistanz des Sterns; bei der unteren Kulmination dagegen ist die gemessene Höhe des Gestirns gleich der Polhöhe, vermindert um die Poldistanz, wie die nebenstehende Zeichnung veranschaulicht. Aus dem Mittel beider Messungen fällt also die Poldistanz des Sterns, d. h. sein Ort am Himmel, mit der ihm etwa noch anhaftenden Unsicherheit heraus, und man erhält unmittelbar die Polhöhe des Beobachtungsortes aus dem Mittel der beiden Höhen. Sei beispielsweise die Höhe eines Sterns bei seiner oberen Kulmination (h_1 in unserer Zeichnung) gleich 55°, bei seiner unteren (h) gleich 49° gefunden, so erhalten wir die Polhöhe (φ) gleich ½ (55 + 49) = 52°. Als Nebenprodukt dieser Rechnung erhält man gleichzeitig die Poldistanz (p) des Sterns, die gleich ½ (55—49) = 3° ist. Der Stern hat also eine Deklination oder Äquatorbreite (δ) von 90 — 3 = 87°.



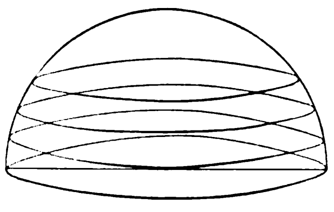
Bestimmung der Polhöhe eines Beobachtungsortes.

Da die Polhöhe eine der wichtigsten Konstanten für alle astronomischen Messungen ist, so wird sie für den Ort des Meridiankreises einer Sternwarte durch sorgfältigste, vielhundertfach wiederholte Beobachtungen bestimmt. Dabei fand man, daß sie in der Tat für ein und denselben Punkt der Erdoberfläche, wenigstens innerhalb geringer Bruchteile einer Bogensekunde, unveränderlich ist. Auf minimale Polhöhenschwankungen, die man in jüngster Zeit wahrgenommen hat, kommen wir zurück.


Lage des Tagbogens der Gestirne am Erdäquator.

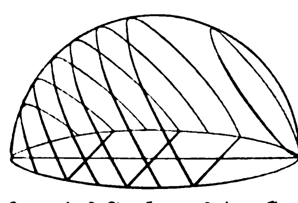
Dagegen zeigt sich die Polhöhe verschieden für verschiedene Beobachtungsorte. Wandern wir nach Norden, also in der Richtung des himmlischen Nordpols weiter, so erhebt sich dieser mehr und mehr über den Horizont; gehen wir dagegen nach Süden, so sinkt der Nordpol herab. Wir gelangen in dieser Richtung schließlich in ein Gebiet der Erde, von dem aus wir den Nordpol ganz am Horizonte, und zwar in dessen Nordpunkte, sehen; gleichzeitig taucht hier im Südpunkte der Südpol auf. Die Weltachse, die beide Pole verbindet, liegt hier also in der Horizontebene, und der Himmelsäquator, der überall gleichweit von den Polen entfernt ist, muß senkrecht auf dem Horizont stehen. Da alle Sterne sich zu ihm parallel bewegen, steigen sie hier auch senkrecht am Osthorizont auf und sinken ebenso im Westen nieder. Der Bogen, den sie dabei über dem Horizont von Aufgang zu Untergang beschreiben, Tagbogen genannt, ist ein genauer Halbkreis; die andere Hälfte ihrer Bewegung, der Nachtbogen, wird unter dem Horizont ausgeführt.

Im Laufe von 24 Stunden werden also für einen solchen Beobachtungsort nach und nach die Gestirne des ganzen Firmamentes sichtbar. Gehen wir auf der Erde genau in der Richtung des Himmelsäquators, also direkt nach Westen oder Osten weiter, so ändert sich nichts an den eben beschriebenen Verhältnissen: die Pole bleiben im Horizonte, die Sterne steigen senkrecht auf, und ihre Tag- und Nachtbogen bleiben einander gleich. Die Linie, die wir auf der Erde bei dieser Wanderung beschreiben, hat man den Erdäquator genannt. Für jeden Punkt des letzteren geht der Himmelsäquator durch den Zenit des Beobachters und ebenso genau durch den Ost- und Westpunkt des Horizontes. Alle Sterne gehen ebensoviele Azimutalgrade nördlich oder südlich von diesen Schnittpunkten des Äquators auf und unter, wie sie vom Himmelsäquator nördlich oder südlich sich befinden, d. h. das Azimut ihres Aufganges ist von Norden gezählt gleich $90^0 - \delta$.



Lage des Tagbogens der Gestirne an einem der Erdpole.

Wenn wir nun von irgendeinem Punkte des Erdäquators aus einem der Himmelspole im Horizonte zusteuern, so würden wir, falls es die Terrainverhältnisse der Erdoberfläche erlaubten, schließlich zu einem Punkte gelangen, für den der Himmelspol gerade im Zenit des Beobachters steht; wir befänden uns dann auf einem der Erdpole. Nur noch wenige Grade fehlen bekanntlich, bis auf die sich unsere kühnen Nordpolfahrer einem dieser Punkte genähert haben. Dort bewegt sich das Himmelsgewölbe um eine senkrecht zum Horizont stehende Achse. Da der Himmelspol im Zenit steht, muß der Äquator mit dem Horizont zusammenfallen, und die zum Himmelsäquator parallelen Deklinationskreise, in denen die Sterne ihre tägliche Bewegung ausführen, sind hier auch zum Horizonte parallel. Wir sehen also, daß am Pol kein Stern weder auf- noch untergehen kann, sondern stets in ein und derselben Höhe über dem Horizonte, die gleich seiner Äquatorbreite (Deklination) ist, den Himmel umkreist. Nur immer eine Hälfte des Himmelsgewölbes ist von jedem Pol aus sichtbar, während die andere beständig unter dem Horizonte bleibt.

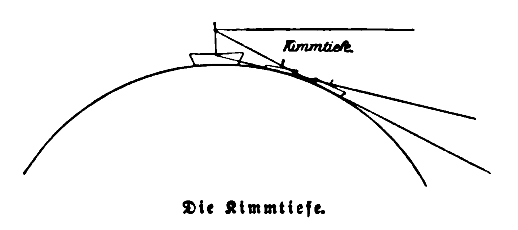


Lage des Tagbogens der Gestirne in einer geographischen Breite zwischen Pol und Äquator.

Die Wegstrecke vom Erdäquator nach beiden Polen hat man in 90 Breitengrade eingeteilt, so daß immer die Polhöhe jedes Ortes mit seiner geographischen Breite übereinstimmt. Während nun am Äquator nach und nach das ganze Himmelsgewölbe über dem Horizonte sichtbar wird, am Pol dagegen genau das halbe, tritt für die dazwischen liegenden geographischen Breiten eine Bewegung des Himmelsgewölbes ein, die immer nur einen gewissen Teil der antipodischen Himmelshalbkugel sichtbar werden läßt. So muß z. B. für eine geographische Breite von $52{,}5^0$ der Himmelsäquator eine Höhe über dem Horizonte gleich $90 - 52{,}5^0 = 37{,}5^0$ besitzen, wie aus der unteren Zeichnung auf dieser Seite zu ersehen ist. Sterne bis zu $37{,}5^0$ Breite südlich vom Äquator können hier also infolge des täglichen Umschwunges der Himmelskugel noch über den Horizont treten, und nur alle südlicher gelegenen Gestirne werden für diese Breite niemals sichtbar. Dagegen bleiben alle Sterne von mehr als $37{,}5^0$ nördlicher Äquatorbreite beständig über dem Horizont, gehen also weder auf noch unter, denn diese Sterne stehen auf einer Zone rings um den sichtbaren Himmelspol herum, deren Halbmesser, vom Pol gemessen, gerade gleich der

Polhöhe des betreffenden Ortes ist. Der Stern wird also bei seiner täglichen Bewegung in der tiefsten Stellung eben den Horizont berühren, wenn seine Poldistanz gleich der Polhöhe ist. Solche weder auf- noch untergehende Sterne nennt man Zirkumpolarsterne. Am Äquator gibt es deren keine, während am Pol alle überhaupt sichtbaren Sterne zirkumpolar sind. Über alle diese Verhältnisse der täglichen Bewegung der Gestirne wird man sich an einem Himmelsglobus, der mit seinem Horizont für jede Polhöhe einzustellen ist, am schnellsten Klarheit verschaffen.

Während unserer Wanderung auf der Erdoberfläche, die wir zum Zweck des Studiums dieser Bewegung des Himmelsgewölbes ausführten, konnten uns zwei Beobachtungen ohne alle sonstigen Vorkenntnisse die Überzeugung gewinnen lassen, daß die Erde ein runder Körper sein muß. Es zeigt sich nämlich zunächst, daß, wenn wir auf dem Erdäquator immer in derselben Himmelsrichtung weitergehen (z. B. so, daß die beiden Himmelspole stets im Horizonte bleiben, wir also den Erdäquator nicht verlassen), wir schließlich wieder an den Ausgangspunkt zurückkehren. Wenn nun weiter verschiedene Personen von verschiedenen Punkten des Äquators aus ihre Wanderung nach demselben Himmelspol hin beginnen, d. h. die Reise im rechten Winkel zum Äquator antreten, so rücken sie, je höher der Himmelspol über ihrem Horizont emporsteigt, desto näher aneinander und würden im Erdpol alle zusammentreffen. Dies könnte aber nicht geschehen, wenn die Erde etwa in Wirklichkeit eine ungeheure ebene Scheibe wäre, wie es für uns den Anschein hat und im Altertum auch geglaubt wurde; denn auf einer Ebene kommen Linien, die senkrecht zu einer anderen geraden Linie stehen, sich einander niemals näher, sie gehen parallel bis in die Unendlichkeit fort. Wir müßten fürchten, allzuweit auf elementare Dinge zurückzugreifen, wollten wir andere Beweise für die Kugelgestalt der Erde ausführlich erörtern. Es sei darum nur noch der Erscheinung der sogenannten Kimmtiefe gedacht, die ein astronomisches Interesse hat. Würde man sich auf einer ebenen Fläche auch nur um ein Geringes über sie erheben, so müßte man, soweit die rein theoretischen Bedingungen ins Auge gefaßt werden, die ganze Ebene bis an ihre letzten Grenzen übersehen können. Nur unsere optische Unfähigkeit würde ein ganz allmähliches Verschwinden, z. B. einer endlosen Meeresfläche, am Horizonte bewirken; eine scharfe Abgrenzung zwischen Meer und Himmel, wie man sie in Wirklichkeit sieht, wäre unmöglich. Diese Abgrenzung entsteht nur dadurch, daß von unserem über der Meeresfläche erhabenen Standpunkt aus der Sehstrahl die abwärts gekrümmte Meeresoberfläche tangiert (s. obige Abbildung). Offenbar muß unter dieser Voraussetzung diese Berührungslinie in einem um so entfernteren Punkte die gekrümmte Oberfläche treffen, je höher wir uns über sie erhoben haben. Wir genießen, wie jedermann weiß, einen größeren Rundblick von hohen Bergen aus.



Die Kimmtiefe.

Zeichnen wir die Erde als Kugel im Mittelpunkt eines festen Himmelsgewölbes auf und ziehen von einem über der Erde erhabenen Punkte nach beiden Seiten Tangenten an die Erde, so sehen wir, daß mehr als die halbe Himmelskugel von hier aus sichtbar sein muß; das findet sich durch die genauen Messungen in der Tat bestätigt. Man nennt den halben Winkelüberschuß über 180 Grad, den der Meridian eines erhöhten Beobachtungsortes

sichtbar umfaßt, dessen Kimmtiefe; sie ist bei Beobachtungen auf hoher See stets zu berücksichtigen, weil man hier die Höhe der Gestirne direkt vom sichtbaren Meereshorizonte mißt. Auf den Sternwarten allerdings, selbst wenn sie sehr hoch gelegen sind, hat man mit der Kimmtiefe nicht zu rechnen, weil man dort die Richtung des wahren Horizontes durch die Beobachtung der Quecksilberoberfläche findet, von der oben gesprochen worden ist (S. 424). Immerhin gewährt die Höhenlage durch die dadurch hervorgebrachte scheinbare Depression des Horizontes, d. h. eben der Kimmtiefe, den Vorteil, daß die Gestirne dort früher auf- und später untergehen als in der Ebene und deshalb früher in Lagen kommen, in denen die tiefliegenden Dünste der Atmosphäre den Beobachtungen nicht mehr hinderlich sind. Auf der 1200 m hoch gelegenen Lick-Sternwarte z. B. geht die Sonne durchschnittlich 5—6 Minuten früher über dem Spiegel des Pazifischen Meeres auf als an der Küste am Fuße des Mount Hamilton. Die Kimmtiefe beträgt dort 1,1 Grad.

Übersicht der Ausdehnung des Gesichtskreises.

Standpunkt über der Meeresfläche Meter	Halbmesser des Gesichtskreises Kilometer	Kimmtiefe	Standpunkt über der Meeresfläche Meter	Halbmesser des Gesichtskreises Kilometer	Kimmtiefe
5	8,0	0,1°	2000	159,7	1,4°
10	11,3	0,1	3000	195,6	1,7
50	25,3	0,2	4000	225,8	2,0
100	35,7	0,3	5000	252,5	2,3
200	50,5	0,5	6000	276,6	2,5
500	79,9	0,7	7000	298,6	2,7
1000	112,9	1,0	7500	309,2	2,8

Während in diesem Falle die eingehenderen Beobachtungen dem Augenschein widersprechen, indem letzterem die Erde als ebene Fläche erscheint, gibt es eine Gelegenheit, bei der für den denkenden Beschauer der direkte Augenschein die kreisförmige Begrenzung des Erdkörpers unmittelbar dartut. Diese Gelegenheit bieten die Mondfinsternisse. Wie wir später beweisen können, werden diese Verfinsterungen durch den Schatten der Erde hervorgerufen, der auf den Mond fällt (s. die farbige Tafel bei S. 527). Wir sehen also hierbei die Silhouette der Erde aus einer so großen Entfernung, daß wir sie trotz der Größe unseres Weltkörpers leicht mit einem Blick überschauen können. Da diese Silhouette kreisförmig ist, unter welchem Winkel auch die Sonnenstrahlen die Erde während eines solchen Phänomens treffen mögen, so muß sie in der Tat nahezu kugelförmig sein.

Alle diese Wahrnehmungen berechtigen uns, als eine erste Annäherung an die Wahrheit, die Erde als kugelförmig anzunehmen und nun mit Hilfe der feinen Messungen, die der Meridiankreis und die anderen Werkzeuge der Astronomen gestatten, die genauere Gestalt und Größe der Erde zu ermitteln. Wir teilen zu dem Zweck die Erdkugel zunächst durch die bekannten Längen- und Breitengrade ein, deren System parallel zu dem der äquatorialen Längen und Breiten auf der Himmelskugel liegt. Stellen wir also einen Erdglobus in dem Mittelpunkt einer Hohlkugel auf, die das Himmelsgewölbe darstellt, und legen Ebenen durch die Breitenkreise der Erde, so treffen diese Ebenen in ihrer Verlängerung die Deklinationskreise des Himmelsgewölbes. Bei den Meridianebenen ist dies nicht unmittelbar der Fall, weil das Himmelsgewölbe sich scheinbar in 24 Sternzeitstunden einmal um die Erde dreht. Die Ebene eines bestimmten Meridians der Erde fällt also nach und nach

mit allen Ebenen der Himmelsmeridiane oder Längenkreise zusammen. Eben diese Erscheinung beobachten wir an unseren astronomischen Instrumenten, und wir bestimmen danach die Zeit des Beobachtungsortes.

Umgekehrt kommt der nämliche Meridian der Himmelskugel zur Deckung mit jedem Erdmeridian, und diesen Umstand können wir benutzen, um den Unterschied der geographischen Längen zweier Orte auf der Erde zu ermitteln; der Unterschied ist offenbar gleich dem Zeitunterschiede zwischen der Kulmination eines Sterns für den einen und für den anderen Beobachtungsort. Befinden sich an beiden Orten, deren Längenunterschied man bestimmen will, Meridiankreise, so ist es ein leichtes, sich dieser Aufgabe zu entledigen; man braucht nur an beiden Orten denselben Stern während seines Meridiandurchganges zu beobachten. Der Unterschied der Sternzeiten dieser beiden Momente ist ohne weiteres gleich dem Unterschiede der geographischen Längen beider Orte, der also ganz unabhängig von den geographischen Breiten gefunden wird.

In der Praxis freilich stellt sich die Erledigung solcher geographischen Längenbestimmung wegen der äußersten Genauigkeit, die man von ihr verlangt, als nicht so einfach heraus. Da die Beobachtungen zugleich an zwei entfernten Orten ausgeführt werden müssen, so gehören dazu zwei Instrumente, zwei Beobachter und zwei Normaluhren mit ihren individuellen Fehlern, die aus dem Resultate fernzuhalten sind. Wie man die Fehler des Meridiankreises, der Normaluhr und des Beobachters bestimmt, wissen wir bereits; aber es entsteht nun die Schwierigkeit, den augenblicklichen Stand der einen Normaluhr mit dem der anderen über weite Länderstrecken hinweg zu vergleichen. In früheren Zeiten blieb zu dem Zweck nichts weiter übrig, als eine oder mehrere tragbare Uhren, also etwa Boxchronometer, zunächst mit der einen Normaluhr zu vergleichen und dann mit diesen Chronometern nach dem Orte der anderen Uhr zu reisen, um sie mit dieser zu vergleichen; daß hierdurch unberechenbare Fehler sich einschleichen mußten, ist klar. Heute wird dagegen diese Zeitübertragung durch den elektrischen Telegraphen, der alle Länder überspannt, ungemein erleichtert und bedeutend sicherer gestaltet. Die betreffenden Behörden stellen, wenn eine wichtige Längenbestimmung ausgeführt werden soll, einen die beiden Sternwarten direkt verbindenden Draht während mehrerer Stunden der Nacht den Astronomen zur Verfügung. Die Verbindungen sind so eingerichtet, daß die elektrischen Kontakte der einen Normaluhr den Sekundenstift des Chronographen am anderen Beobachtungsorte in Bewegung setzen, während der zweite Chronographenstift von der dortigen Uhr bewegt wird. Die Unterschiede der Sekundenpunkte geben dann unmittelbar den Unterschied der Uhrstände beider Normaluhren. Durch genaueste Beobachtungen anderer Art macht man sich von den Fehlern des Chronographen und von der Zeit, die der elektrische Strom gebraucht, um von dem einen Orte zu dem anderen zu gelangen, sowie von dem Einfluß der „persönlichen Gleichung" unabhängig.

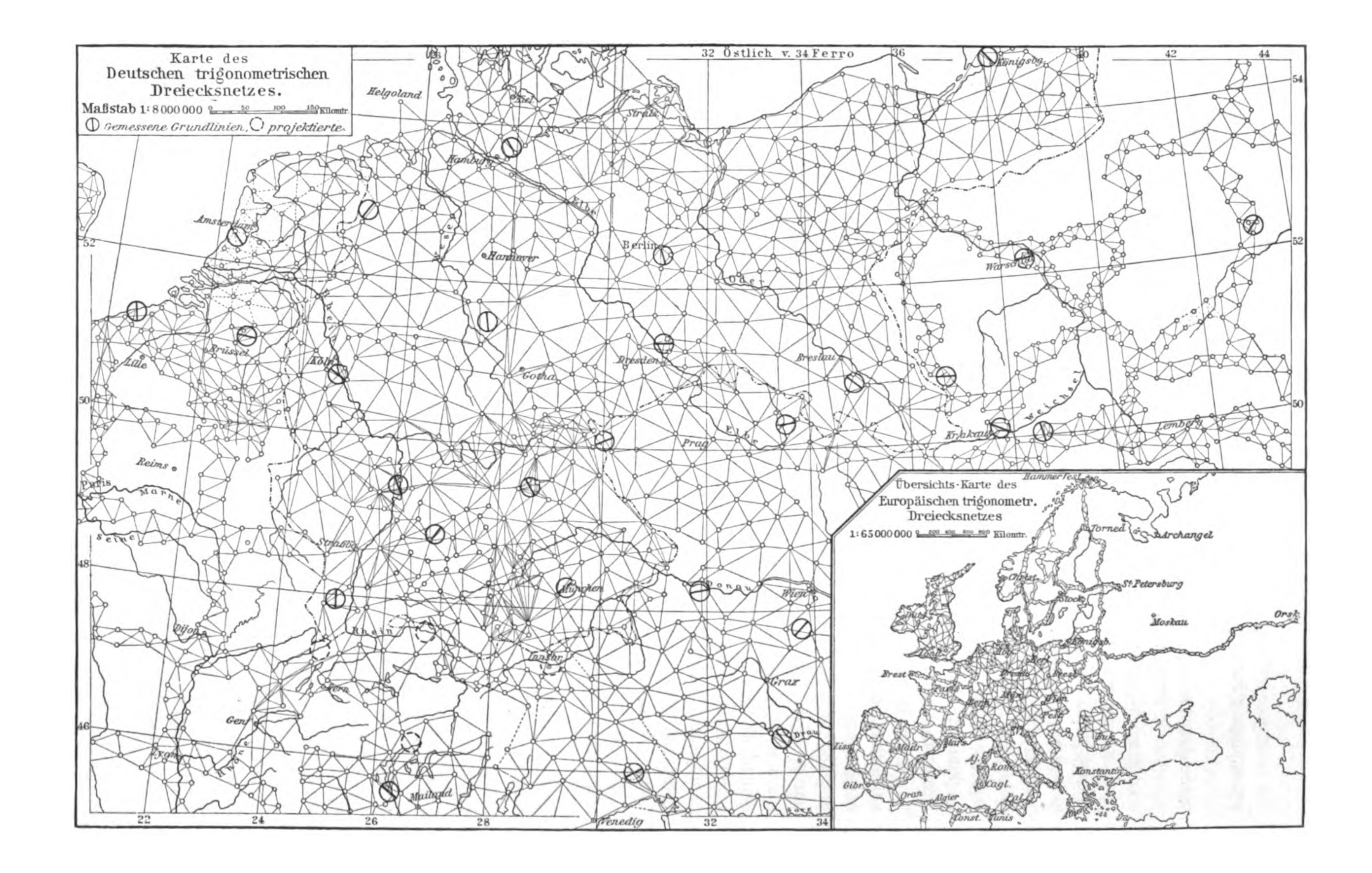
Solche telegraphische Längenbestimmungen sind schon sehr zahlreich in allen Richtungen über weite Länderstrecken hinweg, sogar mit Hilfe der transatlantischen Kabel, ausgeführt worden. Die auf diese Weise in Zeit ausgedrückt erhaltenen Längenunterschiede lassen sich durch Multiplikation mit 15 (360 Grad = 24 Stunden) ohne weiteres in Winkelmaß umwandeln. Wäre eine solche Bestimmung zwischen zwei Orten ausgeführt, die z. B. beide am Äquator liegen, und deren Entfernung voneinander in irgendeinem üblichen Längenmaße bekannt ist, so würde man, unter der Voraussetzung, daß die Erde



eine vollständige Kugel ist, den ganzen Erdumfang in diesem Längenmaß ausgedrückt sofort berechnen können. Hätten wir etwa gefunden, daß zwei Orte am Äquator 2 Grad Längenunterschied zwischen sich haben, so wissen wir auch sofort, daß sie um den 180. Teil des ganzen Erdumfanges voneinander abstehen, da der Äquator in 360 Längengrade eingeteilt ist. Hätten wir nun auf irgendeine Weise gleichzeitig erfahren, daß die beiden Orte 30 geographische Meilen voneinander entfernt sind, so muß der ganze Erdumfang gleich $30 \times 180 = 5400$ Meilen am Äquator halten. Die Bedingung, daß diese Messung gerade am Äquator ausgeführt wird, läßt sich aber unschwer umgehen, da man durch die Bestimmung der Breitenunterschiede, die aus den Polhöhenmessungen sich unmittelbar ergeben, in einfacher Weise die unter beliebigen Polhöhen angestellten Längenbestimmungen auf den Äquator oder einen anderen sogenannten „größten Kreis" auf der Erdkugel reduzieren kann. Um die Dimensionen der Erde mit irgendeinem in unseren Händen befindlichen Maß ausmessen zu können, bleibt uns also nach Erledigung der geographischen Ortsbestimmung zweier Punkte auf der Erdoberfläche nur noch die Aufgabe, die kürzeste Entfernung zwischen diesen beiden Punkten mit einer solchen gegebenen Längeneinheit wirklich auszumessen. Dies geschieht mit Hilfe der Triangulation.

Theoretisch ist diese Aufgabe wiederum sehr leicht erledigt. Man überzieht die Erdoberfläche zwischen den Beobachtungsorten im Gedanken mit großen Dreiecken und begibt sich mit einem tragbaren Winkelmeßinstrumente, das im großen und ganzen wie das Altazimut eingerichtet ist, einem Theodoliten, nacheinander auf alle Eckpunkte der Dreiecke (die dem Terrain angepaßt werden müssen, damit man immer eine genügende Anzahl von Dreieckspunkten von einem derselben sehen kann) und mißt alle Winkel des ganzen Netzes aus. Bekanntlich können die Längen zweier Seiten eines Dreiecks berechnet werden, wenn man die dritte Seite und die Winkel des Dreiecks kennt. Man kann nun die Dreiecke des ganzen Triangulationsnetzes so legen, daß immer zwei Dreiecke eine gemeinsame Seite haben; ist also nur eine Seite des ganzen Systems ausgemessen, so hat man damit die Längen aller Seiten nach Bekanntwerden der Winkel bestimmt. Da nun die beiden äußersten Punkte des Dreiecksnetzes mit den Mittelpunkten der Meridiankreise unserer Beobachtungsorte zusammenfallen, kann man deren Entfernung mit Hilfe der Triangulation in demselben Längenmaß angeben, mit dem jene eine Seite, die Basis der Triangulation, wirklich gemessen worden ist. Die Gesamtheit der hierzu nötigen Operationen, Basismessung, Triangulation und geographische Ortsbestimmung, bezeichnet man als Gradmessung, weil man eben hierdurch die wirkliche Länge eines Grades auf der Erdoberfläche ausmessen will.

In der Praxis stellen sich dieser Riesenaufgabe, die Erde im Geiste mit unseren Maßstäben zu umspannen, begreiflicherweise bedeutende Schwierigkeiten entgegen. Vor einer Reihe von Jahrzehnten hat sich eine große Anzahl hervorragender Astronomen unseres Kontinentes zu einer europäischen oder internationalen Gradmessungskommission zusammengetan, die in unermüdlicher Tätigkeit ganz Europa mit einem vielverzweigten Dreiecksnetz überzieht (s. die Karte, S. 457). Man will mit Hilfe dieses Gewirrs von Linien und Winkeln ein möglichst langes Stück von Europa, das eine Mal ungefähr in der Richtung der Breitenkreise, etwa von Orsk bis nach Lissabon, das andere Mal senkrecht dazu, in der Richtung eines Meridianes, also vom Nordkap bis etwa nach Bukarest, ausmessen. Es läßt sich schon aus der Karte ablesen, daß es sich hier um eine


Karte des
Deutschen trigonometrischen
Dreiecksnetzes.
Maßstab 1: 8 000 000
Kilomtr.
Gemessene Grundlinien, projektierte.
32 Östlich v. 34 Ferro
Helgoland
Kiel
Hamburg
Königsbg.
Amsterdam
Hannover
Berlin
Warschau
Oder
Elbe
Weser
Brüssel
Lille
Köln
Gotha
Dresden
Breslau
Weichsel
Krakau
Lemberg
Prag
Reims
Paris
Marne
Seine
Straßbg.
München
Donau
Wien
Dijon
Rhein
Innsbr.
Graz
Bern
Genf
Lyon
Rhone
Mailand
Venedig
Übersichts-Karte des
Europäischen trigonometr.
Dreiecksnetzes
1: 65 000 000
Kilomtr.
Hammerfest
Torned
Archangel
St. Petersburg
Moskau
Orsk
Christ.
Stock.
Königsb.
Brest
Madr.
Rom
Cagl.
Konstantin.
Gibr.
Oran
Algier
Const.
Tunis
Lissab.
22
24
26
28
32
34
36
40
42
44
46
48
50
52
54

ungeheure Arbeit handelt. Jedes dieser zahllosen Dreiecke muß sehr oft ausgemessen werden, was namentlich auf gebirgigem Terrain die größten Anforderungen an die Energie des Beobachters stellt. Da die unvermeidlichen Beobachtungsfehler die drei Winkel eines solchen Riesendreiecks niemals der theoretischen Anforderung entsprechend gleich 180 Grad werden lassen, muß man eine größere Anzahl von benachbarten Dreiecken zusammenfassen, um aus den betreffenden Beobachtungen nach der Methode der kleinsten Quadrate die wahrscheinlichsten Werte für jene Winkel zu finden; man nimmt eine sogenannte Ausgleichungsrechnung vor, die eine langwierige Arbeit darstellt. Ferner muß parallel mit der Triangulationsarbeit ein Präzisionsnivellement des ganzen Gebietes ausgeführt werden, da die gemessenen Dreiecke wegen der Terrainunebenheiten natürlich nicht horizontal liegen können. Weil das Dreiecksnetz sich aber der Erdoberfläche theoretisch anschmiegen soll, hat man die Beobachtungen mit Hilfe der Resultate des Präzisionsnivellements auf eine Normalfläche zu reduzieren. Diese darf nicht etwa eine ebene Fläche sein, die irgendeinen der Beobachtungsorte als Horizont tangiert, denn die Erdoberfläche ist in Wirklichkeit gekrümmt. Dreiecke auf einer Kugel, d. h. sphärische Dreiecke, haben nun aber eine Winkelsumme, die größer ist als 180 Grad; man muß also an die gemessenen ebenen Dreiecke noch eine Korrektion, den sogenannten sphärischen Exzeß, anbringen.

Um endlich alle Seiten dieses vielverzweigten Dreiecksnetzes in einer gegebenen Maßeinheit ausdrücken zu können, ist noch die Basismessung vorzunehmen. Aus praktischen Gründen ist es nicht erwünscht, eine solche Basis besonders lang zu machen; man begnügt sich meist mit 10—20 km; auf unserer Karte (S. 457) sind die Orte, wo Basismessungen stattfanden, mit verzeichnet. Um alle diese Arbeiten zu einem gemeinsamen Resultate zu vereinigen, muß selbstverständlich über das ganze europäische Gradmessungsgebiet hin im Prinzip derselbe Maßstab verwendet werden. Da dies in der Praxis unausführbar ist, entstehen neue, sehr bedeutende Schwierigkeiten durch die Aufgabe, alle angewandten Maßstäbe möglichst genau miteinander zu vergleichen. Dieses geschieht mit Hilfe sehr feiner Instrumente, sogenannter Komparatoren, die auf den Normaleichungsämtern der verschiedenen Länder aufgestellt sind. Der am Komparator direkt zur Vergleichung dienende Maßstab wird von Zeit zu Zeit mit einem anderen verglichen, den man nur selten aus wohlverwahrten Räumen des Archivs herausholt, um ihn möglichst wenig abzunutzen, und der als eigentliches Urmaß für das betreffende Land dient. Um aber auch unter diesen Landesurmaßen für die Zwecke der Gradmessung eine vollkommene Übereinstimmung zu schaffen, hat man bestimmt, daß der in Paris im Besitze der internationalen Maß- und Gewichtskommission befindliche Meterstab für alle übrigen maßgebend sein soll; mit diesem müssen also in letzter Instanz die Landesurmaßstäbe, die Prototype, verglichen werden. Infolge dieser Organisation des Maßwesens werden also alle Messungen auf der ganzen Erde und schließlich auch die in den gesamten Himmelsräumen mit diesem einen Pariser Meter ausgeführt. Wir müssen deshalb im Auge behalten, daß bei allen absoluten Maßangaben neben anderen Unsicherheiten stets noch diejenige mit sehr großem Faktor hineinspielt, die über die wahre Länge dieses Pariser Urmeters etwa noch vorliegt.

In der Hauptsache kommen bei der Basismessung und der Konstruktion des Basisapparates folgende Verhältnisse in Betracht:

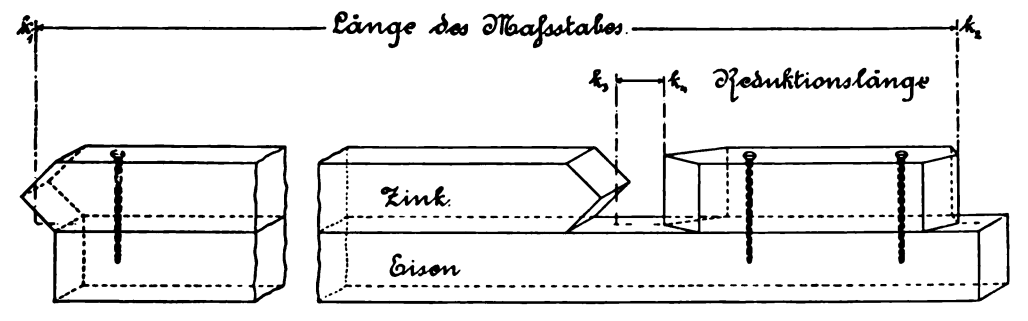
1) Die Länge der Meßstangen muß für jede beliebige bei der Messung vorkommende Temperatur leicht gefunden werden können.

2) Wenn der Apparat aus mehreren Stangen besteht, wie dies in der Regel der Fall ist, so muß bei der Anreihung der Stangen ein Zwischenraum gelassen werden, weil bei unmittelbarer Anbringung der folgenden Stange eine Verschiebung der vorhergehenden stattfinden kann.

3) Es muß Sorge getragen werden, daß dem ganzen Apparat eine feste und unverrückbare Unterlage gegeben wird, die eine leichte Hebung und Senkung der Stangen ermöglicht und ein bequemes Einrichten in das sogenannte Alignement gestattet. Geringe Neigungen der Stangen müssen sich durch Messung feststellen lassen.

4) Am Schluß eines jeden Tages muß der Punkt, bis zu dem die Messung fortgeschritten ist, auf dem Terrain genau festgelegt werden; auch der Anschluß der Messung an die Endpunkte der Basis erfordert besondere Veranstaltungen.

Die Bestimmung der Länge der Stangen bei verschiedenen Temperaturen ist in sehr sinnreicher Weise durch Borda gelöst worden. Dieser machte die Meßstange selbst zu einem



Einrichtung einer Meßstange in schematischer Darstellung.

Metallthermometer, das seine eigene Temperatur angibt. Eine solche Meßstange ist aus zwei übereinander liegenden Stangen aus verschiedenen Metallen, die sehr verschiedene Ausdehnungskoeffizienten besitzen, z. B. aus Eisen und Zink oder Platin und Kupfer, zusammengesetzt (s. obige Abbildung); sie stehen nur in einem Punkte miteinander in Verbindung, so daß die durch die Temperatur bedingte Ausdehnung bei jeder einzelnen unabhängig erfolgen kann. Bei dem Besselschen Basisapparat ist die Zinkstange an ihren Enden mit zwei Stahlstücken versehen, die in horizontale Keile auslaufen, während die etwas längere Eisenstange ebenfalls ein Stahlstück trägt, das beiderseits zu vertikalen Keilen zugespitzt ist. Hat man dann den Abstand zwischen den beiden Keilschärfen k_1 und k_2 gemessen, d. h. die der jeweiligen Temperatur entsprechende Länge der Meßstange festgestellt, so bedarf es nur noch der Bestimmung des Abstandes k_3 k_4 zwischen den Keilschärfen des Metallthermometers, um vermittelst dieser Größe die Länge der Meßstange für eine Normaltemperatur zu erhalten.

Der zweite Punkt betrifft die Messung des Zwischenraumes, der zwischen den einzelnen Stangen zu lassen ist, sowie auch des Abstandes k_3 k_4 der beiden Endmarken des Metallthermometers. Bessel hat diese Entfernungen mit Hilfe dünner Glaskeile erhalten, die zwischen die horizontalen und vertikalen Keilschärfen eingesenkt wurden und an ihren parallelen Seitenflächen eine genaue Linieneinteilung besaßen, welche die Dicke des Keiles sehr wohl mit einer Genauigkeit von etwa einem Tausendstel einer Linie abzulesen gestattete. Da aber

das Einschieben der Glaskeile eine Verschiebung der Stangen herbeiführen kann, verwendet man neuerdings zur Bestimmung des Abstandes zwischen den Endpunkten der Stangen und des Metallthermometers mit vollkommener Mikrometereinrichtung versehene Mikroskope, indem man den beweglichen Spinnfaden mit Spinnfäden zur Deckung bringt, die als Endmarken der Meßstangen dienen, und an der Mikrometertrommel abliest. Die Mikroskope werden dabei, unabhängig von den Meßstangen, in möglichst sicherer Weise aufgestellt.

Der unter 3) genannten Bedingung genügt man dadurch, daß man den Meßapparat mit Libellen zur Bestimmung der Neigung und mit Mitteln zur Herstellung einer genauen Einrichtung in die Basislinie versieht. Der Endpunkt der täglichen Messung wird durch Herunterloten des Punktes auf einen in die Erde eingerammten Pfahl, der auf einer Platte einen scharf markierten Punkt trägt, festgestellt.

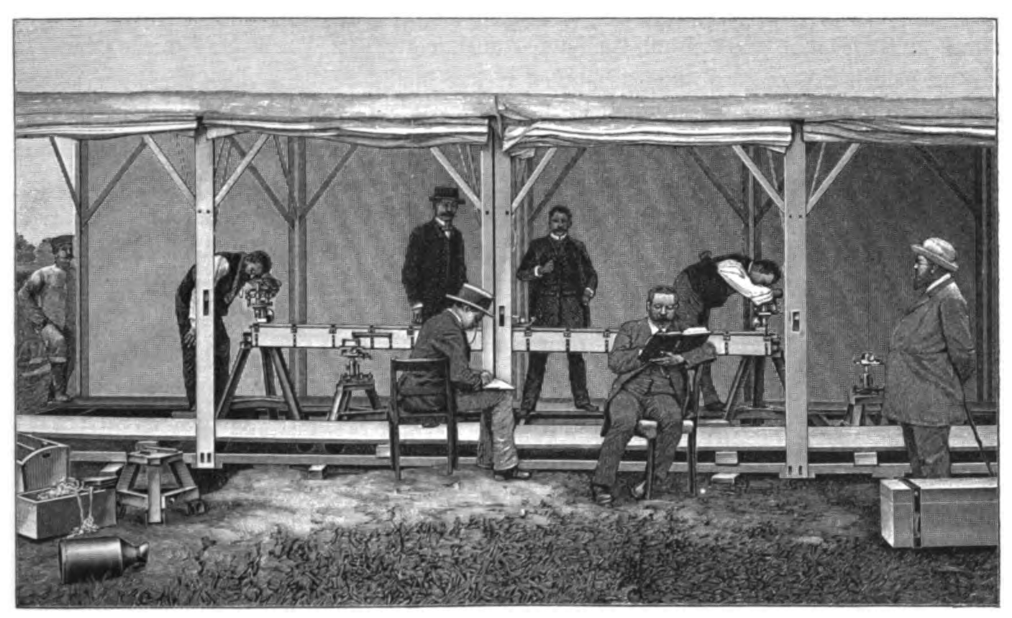
Es ist selbstverständlich, daß der Apparat während der Messungsoperationen beständig gegen den Einfluß der Sonnenstrahlen geschützt werden muß. Man führt daher die Messung unter einer Galerie aus, die in dem Maße, wie die Messung fortschreitet, in der Richtung der Basislinie weiterbewegt wird. (S. Abbildung, S. 461.)

Ehe wir die Resultate der modernen Erdmessungsarbeiten weiter verfolgen, mag ein kurzer Rückblick auf die Versuche älterer Zeiten, sich dieser gewaltigen Aufgabe zu entledigen, von Interesse sein. Es sind solche auf dem geschilderten Prinzip beruhende Versuche bereits sehr früh ausgeführt worden. So sagt z. B. der scharfsinnige Kleomedes, der zur Zeit Aristarchs lebte: „Denen, die in Lysimachia wohnen, steht der Kopf des Drachen über dem Scheitel, in Syene aber steht der Krebs im Zenit; der Raum zwischen dem Drachen und dem Krebs ist aber, wie auch der Gnomon zeigt, der 15. Teil des Meridians von Lysimachia und Syene, die 20,000 Stadien voneinander entfernt sind; der ganze Kreis enthält daher 300,000 Stadien." Eine eigentliche Messung in diesem Sinne nahm jedoch, soweit die Überlieferung geht, zuerst Eratosthenes in Alexandrien vor. Er bestimmte, daß in dieser Stadt die Sonne zur Zeit ihres höchsten Sommerstandes noch $7^1/_6{}^0$ Abstand vom Zenit habe; er hatte nun weiter erfahren, daß um dieselbe Zeit die Sonne sich in Syene um Mittag in einem tiefen Brunnen spiegele, also dort gerade im Zenit stehen müsse. Die Winkelverschiebung des Himmelsgewölbes zwischen diesen beiden Orten von $7^1/_6$ Graden ist aber rund gleich dem 50. Teile des ganzen Kreisumfanges; und da Syene von Alexandrien 5000 Stadien entfernt war, so kamen für den Erdumfang $50 \times 5000 =$ 250,000 Stadien heraus.

Vollkommen nach der Art der modernen Messung verfuhren im Jahre 827 die arabischen Astronomen Chalid ben Abdulmelik und Ali ben Isa, die von einem günstig gewählten Punkte möglichst genau um einen Grad sowohl südlich wie nördlich weitergingen, indem sie die Mittagshöhe der Sonne beobachteten. Die Entfernung zwischen den beiden äußersten Punkten wurde mit Stäben wirklich ausgemessen; sie fanden für den Grad eine Länge von $56^2/_3$ arabischen Meilen. Es wäre jedenfalls interessant, wenn wir diese offenbar mit großer Sorgfalt ausgeführte erste eigentliche Gradmessung mit den modernen Resultaten einigermaßen sicher vergleichen könnten; leider ist das nicht möglich, weil wir keine authentische Überlieferung über die Länge der arabischen Meile haben. Es heißt in den betreffenden Schriften, daß dieselbe gleich 4000 Ellbogenlängen sei; diese teilte man wieder in 8 Fäuste, die Faust in 4 Finger, den Finger in 6 Gerstenkörner und endlich ein Gerstenkorn in 6 Mauleselhaare. Die letzteren aus der Natur entnommenen Maßeinheiten sind das einzige Mittel,

an das man sich zur Vergleichung noch halten kann; wir finden so z. B., daß aus der erwähnten arabischen Gradmessung der Erdumfang gleich 2600 Millionen Fingerdicken resultiert. Nach unserem heutigen Wissen ist der Erdumfang etwa gleich 2500 Millionen Fingerdicken zu je 16 Millimeter, welch letzteres Maß bereits einem recht kleinen Finger entspricht. Man sieht indessen, sehr weit sind die Araber nicht von der Wahrheit entfernt gewesen.

Ähnlicher Naturmaße, wie diese Ellbogenlängen, Fingerdicken u. s. w., bediente man sich bekanntlich bis in die neueste Zeit hinein; heute noch rechnet man vielfach mit Fußen, die in 12 Zoll eingeteilt werden, deren Länge einem Fingerglied entsprechen sollte. Man ging hierbei von dem ganz richtigen Prinzip aus, daß man die Maße von der menschlichen



Basismessung unter einer Galerie. Vgl. Text, S. 460.

lichen Willkür unabhängig machen und ein für die ganze Erde, soweit sie von Menschen bevölkert war, gleichartiges Maß schaffen wollte. Dieses Maß war in der Tat etwas Unvergängliches, und die Überlieferung allein schafft uns jedenfalls eine bestimmtere Anschauung von einer solchen Länge, als wenn sie ganz willkürlich gewählt und uns kein Exemplar eines solchen Maßstabes überliefert worden wäre. Ähnliches ist in der Tat bei den griechischen Stadien eingetreten, über deren wahre Länge wir nichts Bestimmtes mehr wissen.

Leider aber sind die aus der lebendigen Natur genommenen Urbilder für jene Maßsysteme sehr verschieden groß; man mußte sich also bald entschließen, namentlich auch um Ordnung in die Handelsbeziehungen zu bringen, eine feste Maßeinheit, z. B. als Normalfuß, anzunehmen. Hier aber einigten sich die Länder leider nicht sofort, so daß eine große Menge von verschiedenen Fußen und Zollen existierte, die den beständig sich ausdehnenden internationalen Verkehr immer empfindlicher erschwerte. Es war deshalb ein erlösender Gedanke, mit diesem ganzen System aufzuräumen und ein Maß zu wählen, das sein Urbild nicht mehr in der lebendigen Natur, sondern in dem unwandelbarsten Körper findet, den wir noch direkt ausmessen können, dem Erdplaneten selbst. Am 18. Germinal

des Jahres III, entsprechend dem 7. April 1795, beschloß der französische Konvent auf Antrag des Bürgers Claude Antoine Prieur, den vierzigmillionsten Teil des Erdumfanges, im Meridian von Paris von Pol zu Pol quer über den Äquator gemessen, als das Meter zur künftigen Maßeinheit zu proklamieren.

Nun galt es zu bestimmen, wie lang der vierzigmillionste Teil dieses Meridians in Teilen einer bisher bekannten Maßeinheit sei. In genügend angenäherter Weise hätte das geschehen können, wenn die zu den früheren, inzwischen schon weit ausgeführten Gradmessungen verwendeten Maßstäbe noch unversehrt vorhanden gewesen wären. Es hat aber ein eigentümliches Mißgeschick über diesen wertvollen Dokumenten gewaltet. Seit alten Zeiten war als Maßeinheit in Frankreich eine eiserne Schiene maßgebend, die an der Wand eines alten Gebäudes, des Grand Châtelet, eingemauert war. An dieser Schiene befanden sich an beiden Enden Vorsprünge, zwischen welche die zu vergleichenden Maßstäbe gerade einpassen mußten; man nannte die betreffende Länge eine Toise, die ihrerseits in sechs Pariser Fuß eingeteilt wurde. Die Vorsprünge wurden aber durch den Gebrauch immer weiter abgenutzt und rosteten auch. Als nun in den Jahren 1669/70 Picard sich entschloß, eine Gradmessung in Frankreich auszuführen, wurden an diese Toise du Châtelet neue Vorsprünge angesetzt, die sich einige Linien näher aneinander befanden als die alten; mit dieser als neue Normaltoise bezeichneten Länge wurde die Gradmessung ausgeführt.

Um dieses neue Normalmaß für die Nachwelt sicherzustellen, kam Picard auf den glücklichen Gedanken, es mit einem Naturmaße zu vergleichen, das jederzeit, wenigstens nach seiner Überzeugung, leicht wieder herzustellen sei: die Länge des einfachen Sekundenpendels. Wir haben schon früher mitgeteilt, daß ein pendelnder Stab unter dem Einfluß der konstanten Schwerewirkung in absolut gleichen Zeitabschnitten seine Schwingungen ausführt, und daß die Größe dieser Zeitintervalle von der Länge des Pendels unmittelbar abhängt. Da nun der Zeitraum einer Sekunde durch den Umschwung des Himmelsgewölbes stets mit sehr großer Genauigkeit bestimmt werden kann, so ist es auch immer möglich, die Länge eines pendelnden Stabes so einzurichten, daß er genaue Sekunden schlägt. Picard maß also die von ihm experimentell gefundene Länge des einfachen Sekundenpendels in Paris in Teilen seiner Normaltoise aus; er fand sie zu 36 Zoll $8^1/_2$ Linien. Es brauchte in der Tat nur diese Zahlenangabe auf die Nachwelt überzugehen, um daraus die Länge der Normaltoise, wenn sie verloren gegangen sein sollte, wieder konstruieren zu können, denn die Länge des Sekundenpendels konnte jederzeit von neuem gefunden werden. Picard ließ nun noch zum Überfluß einen Stab von der Länge dieses Sekundenpendels anfertigen, und beide Maßstäbe wurden auf der Pariser Sternwarte deponiert. Man hätte meinen sollen, daß nunmehr auf das beste für die Aufbewahrung dieser Etalons gesorgt worden wäre. Als man aber später bei Gelegenheit einer folgenden Gradmessung danach suchte, waren beide Maßstäbe nicht wiederzufinden, und anderseits hatte sich gezeigt, daß die Picardsche Pendelmessung auf gar zu unsicheren experimentellen Grundlagen ruhte, daß eine Anzahl von Vorsichtsmaßregeln nicht getroffen und die Bestimmungen gewisser notwendiger Korrektionen unterblieben waren. Nun war also auch die Picardsche Gradmessung mit neueren Resultaten überhaupt nicht mehr zu vergleichen, zumal da die neuen Vorsprünge an der Toise du Châtelet sich verbogen zeigten. Übrigens hatten die inzwischen ausgeführten weiteren Gradmessungen, die Frankreich von Norden nach Süden sowohl wie von Osten nach Westen durchspannten, zu dem eigentümlichen Resultat geführt, daß ein Meridiangrad

im südlichen Frankreich größer gefunden wurde als im nördlichen. Daraus würde folgen, daß die Erde keine vollkommene Kugel, sondern gegen die Pole zu verlängert sei; dies war von vornherein sehr unwahrscheinlich, und man vermutete deshalb mit Recht beträchtliche Fehler in diesen Gradmessungen.

Unverweilt beschloß man neue Bestimmungen auszuführen, und zwar wurden nun zwei große Expeditionen zu diesem Zwecke ausgerüstet, die eine in das Gebiet des Äquators nach Peru, die andere nach Lappland, um zum ersten Male der Frage über die wahre Gestalt der Erde, bezw. ihrer Abplattung gegen die Pole hin, nähertreten zu können. Zwei neue Kopien der Toise du Châtelet wurden angefertigt und je eine jeder Expedition mitgegeben. Es war aber wiederum sehr unvorsichtig, daß man nicht noch eine dritte Kopie hergestellt hatte, die in Paris blieb. Beide Gradmessungen wurden mit großer Sorgfalt ausgeführt, was namentlich in Lappland mit bedeutenden Schwierigkeiten verknüpft war; die Grundlinie wurde dort auf dem Eise des Torneåflusses mit der sogenannten Toise du Nord gemessen. Als nach mehrjähriger Arbeit endlich die Rückreise angetreten werden konnte, erlitt im Bottnischen Meerbusen das Schiff, welches das kostbare Urmaß enthielt, Schiffbruch, und erst nachdem der eiserne Maßstab längere Zeit im Seewasser gelegen hatte und völlig verrostet war, konnte er wieder geborgen werden. Eine abermalige Vergleichung desselben mit der Toise du Pérou war natürlich unmöglich geworden, und man konnte nicht mehr konstatieren, ob und um wieviel die beiden Urmaße bei der langwierigen Arbeit sich verändert hatten. Auch die Toise du Pérou kam zunächst nicht nach Paris zurück, sondern wurde in Amerika noch vielfach zu anderen Messungen verwendet, bis sie mehr als ein Jahrzehnt nach der Ausführung der Gradmessung 1748 wieder nach Europa gelangte. Auch hier wurde sie anfangs nicht mit der nötigen Vorsicht aufbewahrt. Erst 1756 suchte man die drei aus jener denkwürdigen Zeit noch erhaltenen Maßstäbe, nämlich diese Toise du Pérou, dann die damals so gut wie möglich wieder restaurierte Toise du Nord und eine dritte, die sich im Privatbesitz befand, aber als eine sehr getreue Kopie aus damaliger Zeit galt, wieder hervor und fand sie sämtlich verschieden lang. Handelt es sich auch nur um Differenzen von $^1/_9$ Pariser Linie, so ist doch zu bedenken, daß der ganze Umfang der Erde, der im Prinzip mit diesen Maßstäben gemessen war, rund 10 km verschieden gefunden wurde, je nachdem man die eine oder die andere Toise anwandte. Da nun, wie wir später sehen werden, der Erddurchmesser seinerseits als Basis benutzt werden muß, um darauf Dreiecke zu errichten, deren Spitzen bis zu den übrigen Himmelskörpern reichen, so ist eine so große Unsicherheit über die wahre Länge dieser neuen Basis durchaus unstatthaft; es blieb deshalb nichts anderes übrig, als eine neue Gradmessung auszuführen. Man erklärte die Toise du Pérou als maßgebend, fertigte nun aber mit größter Sorgfalt 80 Kopien davon an, die man an die verschiedenen Behörden im Lande verteilte. Wie wenig vorsichtig man jedoch auch mit diesen umging, mag daraus hervorgehen, daß heute nur noch zwei von allen diesen Kopien existieren; die eine befindet sich in Paris, die andere im Besitz der Universität Kiel.

Wegen der obwaltenden Unsicherheit über das Verhältnis der damaligen Länge der Toise du Pérou zum Umfang eines Meridians war es also nach Beschluß des Nationalkonvents nicht möglich, die wahre Länge eines Meters in Teilen dieser Toise oder irgendeines anderen Maßstabes anzugeben, auch wenn man die damit ausgeführte Gradmessung für zuverlässig erachtet hätte. Wurde nun auch beschlossen, eine neue Gradmessung auszu-

führen, so wollte man doch deren Resultat nicht abwarten, um das Metermaß dann erst einzuführen; man erklärte deshalb eine Länge von 443,44 Linien der Toise du Pérou, die im ganzen 864 Linien lang war, als mètre provisoire, womit man offenbar der Wahrheit ziemlich nahe gekommen zu sein glaubte. Als aber Méchain und Delambre die 1792 von der Nationalversammlung beschlossene neue Gradmessung, die einen Meridianbogen von nahezu $12^1/_2$ Grad umfaßte, im Jahre 1806 vollendet hatten, zeigte es sich, daß nach der gegebenen Definition ein Meter 443,295936 Linien der Toise du Pérou bei einer Temperatur von 13° R lang sei. Man hatte sich also abermals um mehr als $^1/_{10}$ Linie in der ersten Annahme geirrt. Nunmehr setzte man eine Länge von 443,296 jener Linien als definitive Länge des Meters fest, das als Konventionsmeter unverändert bleiben soll. Heute weiß man, daß es noch immer um etwa $^1/_{25}$ Pariser Linie von dem Werte des absoluten Meters nach seiner ursprünglichen Definition abweicht und zwar um diesen Betrag zu kurz ist.

Nachdem eine so ungeheure Summe von Arbeitsleistungen, von Scharfsinn und auch von Geld für die Ermittelung des Urmaßes aufgewendet worden war, sorgte man endlich für eine völlig sichere Aufbewahrung des äußerlich so unscheinbaren Stabes, in dem jedoch all dieser Aufwand an Wissen und Energie in Wirklichkeit verkörpert ist. Es wurde eine größere Anzahl von Kopien des Konventionsmeters aus einer Mischung von Platin und Iridium, die sich als besonders widerstandsfähig erweist, angefertigt und an die Normaleichungsämter der verschiedenen Konventionsstaaten versandt. Einer derselben aber wird als eigentliches Urmaß in einem Kellergewölbe des Bureau international des poids et mesures zu Bretueil bei Paris als kostbarer Schatz beständig hinter Schloß und Riegel aufbewahrt, so daß er nur bei Anwesenheit einer bestimmten Anzahl von Delegierten der internationalen Maß- und Gewichtskommission zugänglich ist.

Auf solche Art war man endgültig vom Naturmaß abgekommen, zu dem man auch kaum jemals wieder zurückkehren dürfte. Als man seinerzeit von den organischen Naturmaßen, um Einheit zu schaffen, zu den unorganischen überging, war der leitende Gedanke, stets ein möglichst unvergängliches Kontrollmaß angeben zu können. Es wären aber sicherlich manche anderen Beziehungen und Verhältnisse in der unorganischen Natur zu finden gewesen, die dieser Anforderung besser genügt hätten als das Meter nach seiner ursprünglichen Definition; z. B. wäre die Länge des einfachen Sekundenpendels für einen bestimmten Ort ungemein viel leichter und sicherer zu messen gewesen als der zehnmillionste Teil eines Meridianquadranten. Man hätte selbst Maßeinheiten finden können, die von allen irdischen Verhältnissen, von der Größe, Schwerkraft oder Umdrehung der Erde (Zeitmaß) unabhängig sind und demnach, rein theoretisch genommen, einmal zur Kontrolle der Unveränderlichkeit dieser Größen selbst hätten dienen können. Zu solchen Maßeinheiten gehören beispielsweise die Ätherschwingungen, durch die uns das Licht vermittelt wird. Der Abstand zweier Linien eines Spektrums wird von irdischen Einflüssen nicht verändert werden können.

Inzwischen haben die Gradmessungsarbeiten ihren stetigen Fortgang genommen. Sie gipfeln, wie schon erwähnt, in dem großartigen Unternehmen der europäischen Gradmessung, die im Jahre 1861 von dem preußischen General Baeyer angeregt, aber bis heute noch nicht vollendet worden ist. Diese europäische Gradmessung umfaßt nicht weniger als 69 Längen- und 38 Breitengrade. Zum Teil mußten Dreiecke von ungeheuern Dimensionen über Teile des Mittelländischen Meeres hinweg ausgemessen werden, indem

man mit sogenannten Heliostaten Sonnenstrahlen zwischen zwei Dreieckspunkten hin und zurück schickte, da diese durch Fernrohre nicht mehr hätten gesehen werden können. Das gesamte Unternehmen ist wohl als eine der umfangreichsten und großartigsten wissenschaftlichen Leistungen zu bezeichnen, welche die Menschheit jemals unternommen hat.

Alle vor dem Beginn dieses Unternehmens gemachten Gradmessungen hat seinerzeit Bessel (s. die nebenstehende Abbildung) zu einem gemeinsamen Resultat vereinigt. Danach umfaßt ein Meridianquadrant, also die Bogenstrecke vom Äquator zum Pol, 10,000,855,76 Konventionsmeter, mithin fast ein Kilometer mehr, als es der ursprünglichen Definition entsprechen würde. Dagegen zeigt es sich, daß ein einzelner Meridiangrad am Äquator 110,563,68 m, am Pole 111,679,90 m mißt. Am Pole sind also die Meridiangrade wesentlich länger. Hieraus ergibt sich, daß die Erde an den Polen abgeplattet sein muß. Aus den oben angegebenen Zahlen für den Erdmeridian folgt, daß die Entfernung vom Nordpol zum Südpol durch den Erdmittelpunkt gemessen um den 299,1528. Teil ihrer Länge kleiner ist als der Weg zwischen zwei Punkten des Äquators, der wiederum durch den Erdmittelpunkt geht. Mit Hilfe der Besselschen Dimensionen ermittelt man leicht, daß die Entfernung eines Poles vom Erdmittelpunkte gleich 6,356,078,96 m, die eines Punktes des Äquators von dem letzteren gleich 6,377,397,15 m ist. Diese ist hiernach rund $21^1/_3$ km länger als die erstere. Die obigen so sehr genau hingeschriebenen Zahlen, die die Ausgleichrechnungen Bessels ergaben, sind natürlich bei weitem nicht mit solcher Genauigkeit als der Wahrheit entsprechend zu verbürgen. So hat eine neuerdings abgeschlossene nordamerikanische Gradmessung für den Äquatorhalbmesser 6378,0 km, etwa 0,6 km mehr, und für den Polarhalbmesser 6356,7 km, also gleichfalls etwa 0,6 km mehr als die Besselschen Werte ergeben.



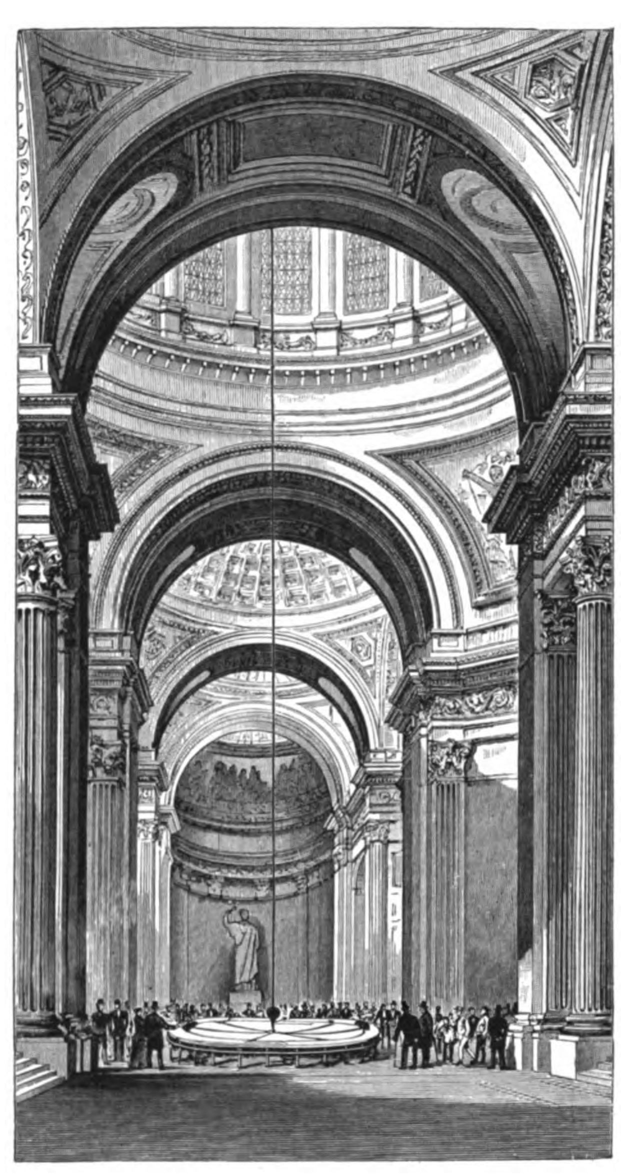
Friedrich Wilhelm Bessel (geb. in Minden 1784, gest. in Königsberg 1846). Nach einem Kupferstich.

Die Erde ist also nach Bessel ein Rotationsellipsoid: ein Körper, der durch Umdrehung einer Ellipse um ihre kleine Achse gebildet wird. In der Natur entsteht ein solcher Körper, wenn eine flüssige oder auch nur eine elastisch nachgiebige Masse in Umdrehung versetzt wird; sich selbst überlassen, wird sie die Kugelform annehmen, wie ein in der Luft schwebender Tropfen, und diese Kugel wird sich um so mehr abplatten, je schneller sich ihre Drehung um sich selbst vollzieht. Es ließe sich theoretisch nachweisen, daß ein Körper von den Dimensionen der Erde, selbst wenn die ihn zusammensetzenden Massen den Grad von Starrheit besitzen, den die Erdkruste zeigt, nach einiger Zeit die Form eines solchen Ellipsoides annehmen müßte, wenn er aus etwaigem Ruhezustand in Umdrehung versetzt wird, oder daß er umgekehrt die Kugelgestalt wieder annehmen würde, wenn er zu rotieren aufhörte.

Die beobachtete Abplattung der Erde würde demnach ein genügender Beweis für ihre Umdrehung um die Polarachse sein, auch wenn wir nicht in der Lage wären, aus der täglichen Bewegung des Himmelsgewölbes auf diese Bewegung der Erde zu schließen. Bis dahin hatten wir immer noch die Wahl zwischen zwei ohne weiteres gleichberechtigten Annahmen: entweder bewegte sich ein festes, rings um die Erde gespanntes kugelförmiges Himmelsgewölbe täglich einmal von Osten nach Westen um die zwischen den beiden Himmelspolen liegende Weltachse, oder wir waren es, die sich mit der gesamten Erdkugel in derselben Zeit von Westen nach Osten umdrehten. Im letzteren Falle sind wir von der Annahme eines festen Himmelsgewölbes befreit, das die Schöpfer der alten Weltsysteme, dem Augenschein unmittelbar folgend, annahmen, und können die Sterne in ganz beliebige und wechselnde Entfernung von der Erde setzen, was später zu besprechende Messungen als notwendig ergeben werden. Die gefundene Abplattung der Erde entscheidet zwischen beiden Annahmen zugunsten der Bewegung unseres Weltkörpers.

Wie schwierig dieses Resultat erlangt wurde, haben wir im Vorangegangenen gesehen. Dagegen gibt es viel augenfälligere Beweise für die Bewegung der Erde, von denen das Experiment mit dem Foucaultschen Pendel das überraschendste ist. Hängt man ein Pendel so auf, daß es sich nach allen Seiten hin frei bewegen kann, so verbleibt es in der ihm durch einen einmaligen Anstoß gegebenen Schwingungsebene; es ist auch in der Tat kein Grund vorhanden, weshalb es diese verlassen sollte. Will man sich durch das Experiment unmittelbar von dieser Eigenschaft überzeugen, so kann man auf einer drehbaren Scheibe einen Bügel anbringen, von dessen höchstem Punkte ein derart freibewegliches Pendel herabhängt; versetzt man es in Schwingung und dreht zugleich die Scheibe samt dem Bügel, so werden nach und nach alle Durchmesser derselben mit der unveränderlichen Schwingungsebene des Pendels zusammenfallen. In der gleichen Lage befindet sich nun ein Pendel, das man sich gerade über einem Erdpol aufgehängt denkt; der Mittelpunkt der Scheibe entspricht diesem Pol und ihre Durchmesser den hier zusammenlaufenden Meridianabschnitten. Steht auf einem dieser Meridiane ein Beobachter, der durch die Umdrehung der Erde von Westen nach Osten um den Pol herumgeführt wird, so muß er das Pendel, das nicht in bezug auf die Erdoberfläche, sondern in bezug auf eine feste Ebene im Weltraum seine Richtung beibehält, von Osten nach Westen abweichen sehen. Wenn sich anfangs das Pendel gegen einen bestimmten Stern des Himmelsgewölbes hin bewegte, so bleibt die Bewegung stets gegen diesen Stern gerichtet; es durchläuft also im Laufe von 24 Stunden einmal alle Azimutgrade des Horizontes. Die Bewegung der Erde würde an diesem Punkte durch das Foucaultsche Pendel am klarsten demonstriert werden können.

Ganz anders aber verhält sich das Instrument an einem Punkte des Äquators. Lassen wir es hier zunächst in westöstlicher Richtung schwingen, so bleibt die Schwingungsebene dauernd parallel zur Richtung der Umschwungsbewegung der Erde, während nur eine Veränderung dieser Richtung durch das Pendel angezeigt werden kann. Es verändert also hier seine Lage zum Horizonte nicht. Das Gleiche findet offenbar statt, wenn wir das Pendel senkrecht zum Äquator, also in der Richtung von Pol zu Pol schwingen lassen, denn die Himmelspole haben, wie wir früher sahen, eine unveränderliche Lage zum Horizont. Da nun das Pendel seine Lage zu einer festen Ebene im Raume, soweit es angeht, unverändert läßt, und die Richtung nach den Himmelspolen eine solche feste Ebene ist, so kann hier das Pendel seine Lage zur Erdoberfläche nicht ändern; am Äquator zeigt es, wie wir es auch schwingen lassen, keine Abweichung. Für die dazwischenliegenden geographischen Breiten finden dazwischenliegende Verhältnisse statt, die theoretisch genau zu berechnen sind. Foucault war der erste, der diese theoretischen Zahlen durch ein praktisches Beispiel in großem Maßstabe bestätigte. Man mußte ein recht langes und schweres Pendel für derartige Versuche anwenden, um möglichst alle Störungen abzuhalten, und namentlich auch um das Pendel stundenlang in Schwingung zu erhalten, da man ihm selbstverständlich nicht wie dem Uhrpendel neue Impulse erteilen konnte, die auf seine Richtung notwendig einen Einfluß genommen hätten. Man konnte deshalb nur sehr hohe Räume für solche Versuche brauchen. Zuerst benutzte man das Pantheon in Paris 1851 dazu (s. obenstehende Abbildung). Ein Pendel von 67 m Länge, dessen Kugel 28 kg wog, hing von der obersten Kuppel dieses gewaltigen Gebäudes herab.



Foucaults Pendelversuch im Pantheon zu Paris.

Es wurde zunächst aus seiner Ruhelage gebracht und so an einem Faden befestigt. Rings um den Fußpunkt des Pendels herum war ein kreisförmiger Wall aus Sand aufgeschüttet, den die Spitze des Pendels durchschlug, nachdem es durch Abbrennen des Fadens zur Schwingung gebracht worden war. Der in der Zeit von 8 Sekunden durchlaufene Schwingungsbogen maß 20 Fuß. Die nach wenigen Minuten bereits bemerkte Abweichung des Pendels von seiner ursprünglichen Schwingungsrichtung entsprach vollkommen der Vorausberechnung.

Eine kulturhistorisch denkwürdige Wiederholung dieses Experimentes führte der gelehrte Pater Secchi in der Ignatiuskirche zu Rom öffentlich aus. 200 Jahre nachdem Galilei in einer anderen Kirche derselben Stadt gleichfalls vor versammeltem Volke die Bewegung der Erde als eine gotteslästerliche Irrlehre abschwören mußte, durfte ein Priester hier den unumstößlichen Beweis von der Wahrheit der damals noch immer auf dem Index befindlichen Kopernikanischen Lehre erbringen. Die nachstehend gegebene kleine Tabelle enthält einige an verschiedenen Orten bei solchen Versuchen beobachtete stündliche Abweichungen des Pendels, verglichen mit den berechneten. Die geographische Breite dieser Orte ist in der zweiten Rubrik unter φ angegeben. Heute ist es bei dem Fortschritt, den die Präzisionsmechanik genommen hat, möglich, die Versuche mit viel kleineren Pendeln, bis etwa 5 m Länge, mit Erfolg auszuführen; fast jedes physikalische Kabinett besitzt ein solches Foucaultsches Pendel.

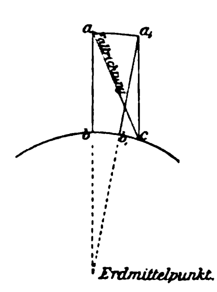
Übersicht der Foucaultschen Pendelversuche.

Ort	φ	Abweichung		Beobachter	Ort	φ	Abweichung		Beobachter
		ber.	beob.				ber.	beob.	
Nordpol . .	90,0°	15,00°	—	—	New York . .	40,7°	9,78°	9,78	Lyman
Dublin . . .	53,4	12,04	11,90	Galbraith	Ceylon . . .	6,9	1,81	1,87	Lamprey
Köln	50,9	11,65	11,64	Garthe	Äquator . .	0,0	0,00	—	—
Genf . . .	46,2	10,83	10,18	Dufour	Rio . . .	—22,9	5,84	5,17	d'Oliveira
Rom . . .	41,9	10,02	9,90	Secchi	Südpol . .	—90,0	15,00	—	—

Ein anderer unmittelbar anschaulicher Versuch zum Beweise der Erddrehung, der aber bei weitem nicht so sicher gelingt, besteht in dem Fallenlassen schwerer Körper von einem erhöhten Standpunkte. Die Spitze eines Turmes, die weiter von dem Erdmittelpunkt entfernt ist als sein Fuß, muß infolge der Erddrehung einen größeren Kreis zurücklegen als der letztere. Läßt man nun von der Spitze einen Gegenstand herabfallen, so behält er, solange er herabfällt, diese größere Umschwungsbewegung bei; er muß also seine Vorauseilung gegen den Fußpunkt dadurch kundgeben, daß er östlich, d. h. in der Richtung der Erdbewegung von dem Punkte niederfällt, der senkrecht unter dem Anfangspunkte seines Falles liegt (s. Abbildung auf S. 469). Die Größe der östlichen Abweichung des Fallpunktes läßt sich leicht für jede Höhe berechnen. So betrug z. B. bei einem Versuche, den Reich im Jahre 1831 im Dreibrüderschachte bei Freiberg ausführte, für eine Fallhöhe von 488 Fuß die beobachtete Abweichung 12,6 Linien, in gutem Einklang mit der Theorie. Nicht immer sind indes bei solchen Versuchen gleich gute Resultate erhalten worden, da störende Einwirkungen sehr schwer zu vermeiden sind; namentlich mußte man es aufgeben, solche Versuche wie anfangs auf Türmen vorzunehmen, weil die Bewegung der Luft einen zu großen Einfluß übt.

Mit aller Genauigkeit ist dagegen die Umschwungsbewegung der Erde sowohl wie ihre Abplattung durch Beobachtungen mit dem einfachen Sekundenpendel zu

ermitteln. Wie wir bereits erfahren haben, gehört dieses Instrument zu den genauesten, welche die Astronomen anwenden, und namentlich die Größe der Schwerkraft kann dadurch auf das präziseste bestimmt werden. Theoretisch läßt sich nachweisen, daß die Schwerkraft eines Körpers von der Größe der Erde sich auf seiner Oberfläche ebenso wie in größerer Entfernung von derselben so verhalten muß, als ob die ganze anziehende Masse im Mittelpunkte des Körpers vereinigt wäre. Dies ist eine jener theoretischen Notwendigkeiten, die mit den Hilfsmitteln der reinen Mathematik ohne die Einführung experimenteller Erfahrungstatsachen gefunden werden können. Daß der Erdkörper überhaupt eine Anziehungskraft ausübt, beweist jeder fallende Stein, und daß diese Anziehungskraft wenigstens ungefähr gegen das Zentrum der Erde gerichtet sein muß, geht daraus hervor, daß die Fallrichtung überall senkrecht gegen die Oberfläche der kugelförmigen Erde gerichtet ist. So sehr sich auch die naive Anschauung, die sich schwer auf den kosmischen Standpunkt zu versetzen vermag, der die Erde als freischwebende Kugel im Universum sieht, dagegen sträubt, so ist es doch Tatsache, daß ein Stein, der bei unseren Antipoden zur Erde fällt, dabei eine für unsere Horizontebene senkrecht zum Himmel aufsteigende Richtung hat.



Abweichung der Fallrichtung von der Lotrichtung. Vgl. Text, S. 468.

Wäre nun die Erde genau kugelförmig, im Inneren gleichmäßig geschichtet, und bewegte sie sich nicht um sich selbst, so müßte offenbar die Schwerkraft auf jedem Punkte der Erdoberfläche, d. h. auch die Länge des einfachen Sekundenpendels, dieselbe sein, wenn wir von den topographischen Unebenheiten absehen, durch die verhältnismäßig geringe Entfernungsdifferenzen vom Erdmittelpunkt entstehen. In Wirklichkeit beobachtet man aber, daß die Pendellänge sich regelmäßig mit der geographischen Breite, unter der sie beobachtet wird, verändert, und zwar muß man das Pendel um so mehr verkürzen, je mehr man sich dem Äquator nähert, wenn es stets fortfahren soll, genaue Sekunden zu schlagen.

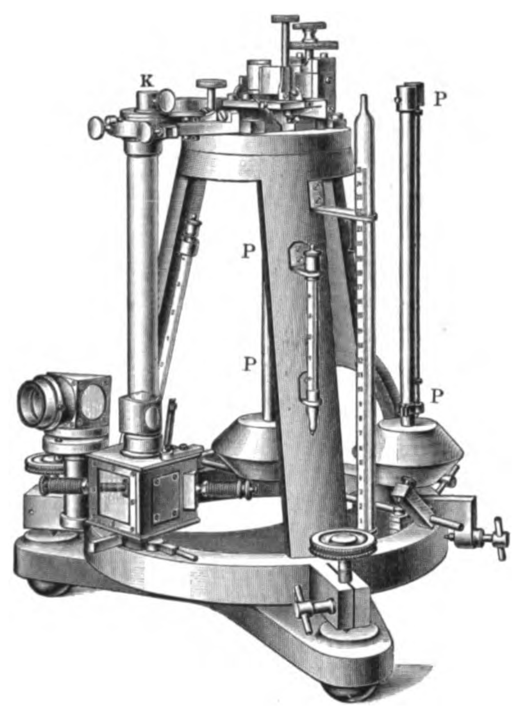
Der erste, der diese Wahrnehmung zu seiner größten Verwunderung machte, war der französische Astronom Richer, der 1672 nach Cayenne geschickt wurde, um dort gleichzeitig mit den Pariser Astronomen möglichst genaue Meridianbeobachtungen des Planeten Mars vorzunehmen, die, wie wir später sehen werden, dazu dienen sollten, die Entfernung dieses Planeten von uns zu ermitteln. Er hatte eine möglichst gute Uhr mitgenommen, die in Paris die genaue Zeit gab, also täglich 86,400 Pendelschwingungen ausführte; in Cayenne angekommen, ging die Uhr plötzlich 2½ Minuten nach, sie machte also täglich ca. 150 Schwingungen weniger als in Paris. Er mußte sein Pendel um ¼ Pariser Linie verkürzen, damit nun wieder 86,400 Schwingungen zwischen einem und dem nächsten Meridiandurchgange eines Sternes stattfanden. Vorerst konnte er sich diesen Umstand durchaus nicht erklären, und er verwunderte sich noch mehr darüber, als er, nach Paris mit seiner Uhr zurückgekehrt, sie dort nun umgekehrt 2½ Minuten vorgehend fand, so daß er das Pendel wieder auf die frühere Länge bringen mußte, damit es genaue Sekundenschläge ausführte. Newton und Huygens waren die ersten, welche die Erklärung für diese Abweichung gaben. Zweierlei Wirkungen vereinigen sich, um die Veränderung der Pendellänge mit der Breite hervorzubringen. Durch die Umdrehung der Erde tritt die sogenannte Flieh- oder Zentrifugalkraft in Wirkung und zeigt dieselbe Erscheinung, durch die eine Kugel den Faden straff zieht, an dem sie umgeschwungen wird. Die Wirkungsweise dieser Kraft läßt sich

wieder theoretisch genau vorherbestimmen; sie hängt von der Winkelgeschwindigkeit des umschwingenden Körpers und seiner Entfernung vom Drehungspunkte ab.

Jeder Körper am Äquator der Erde legt infolge ihrer Umschwungsbewegung einen Weg von 464 m in einer Sekunde zurück; infolge dieses Umschwunges würde ein frei beweglicher Körper die Erdoberfläche sofort verlassen, wenn er nicht durch die überwiegende Schwerkraft zurückgehalten würde, deren Wirkung aber durch die Zentrifugalkraft notwendig abgeschwächt werden muß. Je mehr wir uns dem Pole nähern, desto kleiner werden die Breitenkreise, die ein auf ihnen befindlicher Körper in derselben Zeit von 24 Stunden zu durchlaufen hat; die Zentrifugalkraft muß also nach den Polen hin immer geringer werden, bis sie auf ihnen selbst gleich Null ist. Die unter verschiedenen Breiten beobachteten Pendellängen lassen sich aber durch eine kugelförmige, in 24 Stunden umschwingende Erde allein nicht erklären; wir müssen eine Abplattung annehmen, die einerseits den Umfang der Breitenkreise in anderer Proportion anwachsen läßt als für die kugelförmige Erde, während weiter durch die verschiedenen Entfernungen, in denen man sich auf der Oberfläche der Erde unter verschiedenen Breiten von ihrem Mittelpunkt befindet, ebenfalls eine verschiedene Intensität der Schwerkraft bedingt wird. Wir werden bald eingehender erfahren, daß die Schwerkraft, wie jede von einem Punkt ausstrahlende Wirkung, im Quadrat der Entfernung von diesem Zentralpunkt abnimmt; also auch aus diesem Grunde muß jeder Körper an den Polen der Erde schwerer sein als an ihrem Äquator. Eine Tonne (1000 kg), auf dem Äquator genau abgewogen und nach den Polen transportiert, würde dort um etwas mehr als 3 kg schwerer gefunden werden, freilich nur, wenn man sie mit einer Federwage messen würde. Erscheint diese Zunahme der Schwereintensität auch recht unbedeutend, so ist das Pendel doch imstande, wesentlich feinere Unterschiede zu ermitteln. Dies ergibt sich ohne weiteres daraus, daß der Unterschied der Schwerewirkung zwischen dem Äquator (Cayenne) und der Pariser Breite die Anzahl der Sekundenschwingungen um ca. 150 im Tage verändert, während man doch heute durch Meridianbeobachtungen die Zeitangaben einer Uhr, d. h. nichts anderes als die Anzahl ihrer Pendelschwingungen, bis auf einige Hundertteile einer einzigen Schwingung kontrollieren kann.

Bei der sehr großen Wichtigkeit, die für viele astronomische Fragen die denkbar genaueste Bestimmung der Schwereintensität besitzt, ist man in der Untersuchung der Pendelschwingungen zu diesem Zwecke noch weiter gegangen als für die Zeitmessungen. Zunächst läßt man ein solches Pendel vollkommen frei schwingen, d. h. man verbindet es mit keiner Uhr oder sonstigem Zählwerke, das störende Einflüsse haben könnte. Ein für diese Zwecke eingerichtetes Pendel schwingt auch im lufterfüllten Raum ohne besonderen Antrieb mehrere Stunden lang, ohne daß sein Schwingungsbogen an Länge wesentlich einbüßt. In früheren Zeiten zählte man dann die Schwingungen direkt, während man heute die Methode der sogenannten Koinzidenzbeobachtungen anwendet. Man stellt das Pendel so vor eine astronomische Uhr, daß man auch die Schwingungen der letzteren gleichzeitig mit beobachten kann. Da die Pendel niemals ganz gleichmäßig schwingen, so werden ihre Schwingungsphasen sich gegenseitig ändern. Man beobachtet nun durch das Fernrohr den Augenblick, in dem die beiden Scheibchen der Pendel sich decken, letztere also zusammenschwingen, und wartet dann bis zur nächsten Deckung; in der Zwischenzeit hat das eine Pendel gerade eine Schwingung mehr als das andere gemacht. Da die Schwingungszahl des Uhrpendels aber durch die Uhr selbst gegeben wird, so hat man gleichzeitig die für das freischwingende Pendel ermittelt.

Die so gefundene Schwingungszahl entspricht nicht völlig derjenigen, die aus der Theorie für ein ideales Pendel folgen würde, das praktisch gar nicht herzustellen ist. Die reine Theorie bleibt eben immer in unerreichbaren Abstraktionen; sie muß in diesem Falle z. B. ein Pendel voraussetzen, das aus einem schwerelosen Faden besteht, an dem ein durchmesserloser, aber doch schwerer Punkt hängt. Dies ist die Definition des sogenannten einfachen mathematischen Pendels, auf das sich alle theoretischen Berechnungen beziehen müssen, während das praktisch benutzte physische Pendel aus einer Metallstange mit einer daran befestigten schweren Linse besteht, so daß der Schwerpunkt des Pendels nicht symmetrisch zu seiner allgemeinen Gestalt liegt. Die Länge des beobachteten physischen Pendels muß also auf die eines mathematischen reduziert werden, und diese Reduktion stellt sich für jede Konstruktion desselben verschieden. Nun hatte bereits zu Anfang des 19. Jahrhunderts Bohnenberger theoretisch gefunden, daß diese Reduktion allein von der Entfernung zwischen dem Schwerpunkte des physischen Pendels und seinem Aufhängungspunkte abhängt. Kapitän Kater kam dann auf den glücklichen Gedanken, ein ganz symmetrisches Pendel zu bauen, das gleichweit von der Mitte seines Stabes an beiden Enden Aufhängungspunkte, von der Form feiner Messerschneiden, und gleichgroße Linsen besitzt. Man kann dieses sogenannte Reversionspendel (s. die nebenstehende Abbildung) abwechselnd auf der einen und der anderen Schneide schwingen lassen. Die Theorie fordert, daß die Schwingungszahlen in beiden Fällen die gleichen sein müssen, wenn die Reduktion des physischen auf das mathematische Pendel gleich Null wird. Dies läßt sich experimentell dadurch erreichen, daß man die eine Linse auf dem Stabe so lange verschiebt, bis die Beobachtung die verlangte Gleichheit der Schwingungszahlen ergibt. Die Entfernung zwischen den beiden Schneiden ist dann gleich der Länge des mathematischen Pendels für diese Schwingungszahl. Diese Länge selbst muß nun mit dem Komparator im Normaleichungsamt auf das genaueste in Teilen des Konventionsmeters bestimmt werden, um die verschiedenen Pendelbeobachtungen in den verschiedenen Gegenden der Erde wieder mit einem und demselben Normalmaß vergleichen zu können. Wir sehen also auch hier wieder, welche ungemein große Wichtigkeit die Erhaltung eines solchen Normalmaßes auf Jahrhunderte hinaus hat, da man nur hierdurch einmal wird bestimmen können, ob die Schwerkraft der Erde, bisher die unveränderlichste von allen Konstanten, die man in der Natur beobachtet hat, auch durch Jahrtausende noch unveränderlich bleibt.

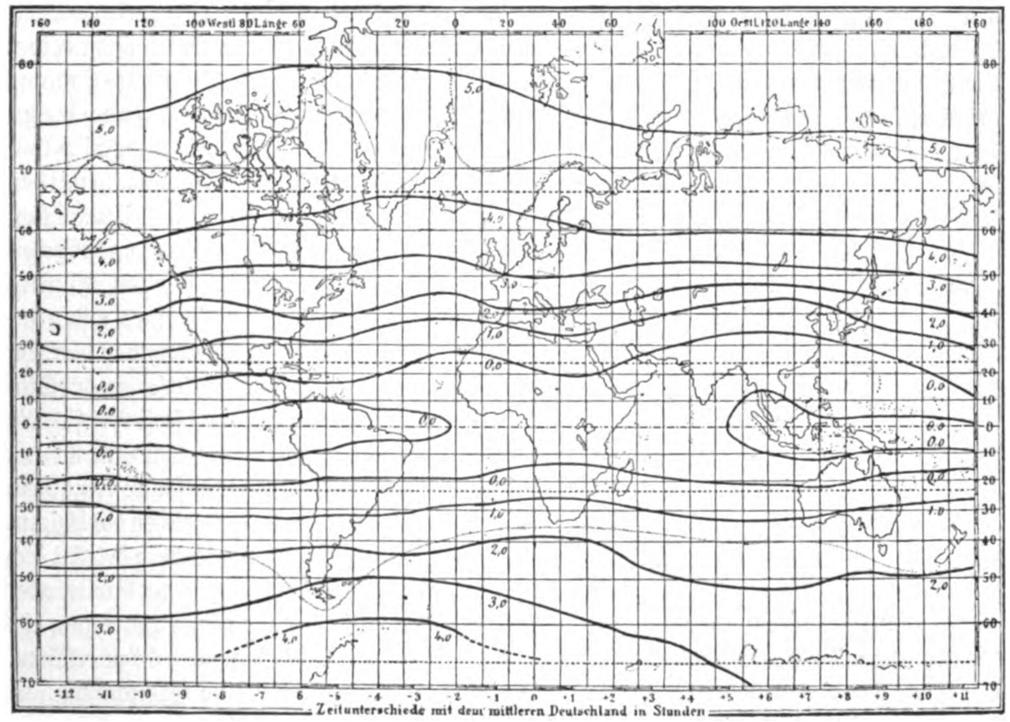


Sternecks Pendelapparat zur Bestimmung der Erdschwere.

Außer der Reduktion des physischen auf das mathematische Pendel müssen natürlich alle die anderen Reduktionen, die wir schon früher beim Uhrpendel kennen lernten, berücksichtigt werden. Der Einfluß der Temperatur auf die Länge des Pendels wird in diesem Falle nicht durch dessen Kompensierung eliminiert. Das geodätische Pendel schwingt immer nur während verhältnismäßig kurzer Zeit, so daß man die Temperatur seiner Umgebung während dieser Zeit nahezu konstant erhalten kann. Man stellt deshalb die Pendelstange in möglichst einfacher Weise aus einem Metall, das gegen Biegungen widerstandsfähig ist, also etwa aus Stahl, her und bestimmt den Ausdehnungskoeffizienten der Stange innerhalb der vorkommenden Lufttemperaturgrenzen mit dem Komparator des Normaleichungsamtes. Man kann dann immer alle unter den verschiedensten Temperaturen angestellten Bestimmungen der Pendellänge auf eine konstante Temperatur, z. B. 0 Grad, reduzieren. Schwieriger ist es, den Einfluß des Luftwiderstandes bis zu demjenigen Grade von Genauigkeit zu bestimmen, der für die Messung der Schwereintensität erforderlich ist. Für das Uhrpendel kommen hier nur die Unterschiede des Luftdruckes in Betracht, während man für die absoluten Schweremessungen wissen muß, wieviel Schwingungen das Pendel mehr machen würde, wenn es sich statt im lufterfüllten im luftleeren Raume bewegte. Die Rechnung ergab, daß ein Sekundenpendel wegen des Luftwiderstandes täglich etwa neun Schwingungen weniger macht, als es ohne diesen ausführen würde; und die Beobachtungen, die seinerzeit Sabine mit einem Pendel in gewöhnlicher Luft, dann in einer Atmosphäre von Wasserstoff und endlich in einem möglichst luftleeren Raum ausgeführt hat, bestätigten die Rechnung. Endlich entdeckte 1881 der Amerikaner Peirce noch eine sehr empfindliche Fehlerquelle, welche die Genauigkeit aller vorher gemachten Pendeluntersuchungen erschüttern mußte. Es zeigte sich nämlich, daß das dreifußförmige Gestell, das den festen Schwingungspunkt trägt, mitschwingt, auch wenn es scheinbar sehr fest gebaut ist. Es gibt eben, wie man auch hier wieder sehen muß, nichts absolut Festes.

Seither sind von Repsold in Hamburg Pendelgestelle konstruiert worden, bei denen die Elastizität auf die Beobachtungen keinen störenden Einfluß üben kann; mit solchen Instrumenten werden die Pendelschwingungen im Anschluß an die europäische Gradmessung ausgeführt. Aber wie weit man auch die Genauigkeit dieser Pendelmessungen sowohl wie der eigentlichen Gradmessungsarbeiten treiben mochte, es blieben doch stets gewisse sich systematisch anordnende Fehler oder, besser gesagt, Abweichungen von der angenommenen Theorie übrig, die sich nur dadurch erklären ließen, daß die Annahme, die Erde sei ein vollkommenes Rotationsellipsoid, keine absolute Gültigkeit hat. Selbstverständlich wird bei allen diesen Untersuchungen von den topographischen Unebenheiten der Erdoberfläche und besonders von der allgemeinen Erhebung der Festlandsmassen über die Meeresflächen Abstand genommen. Alle gefundenen Größen werden mit Hilfe des Präzisionsnivellements auf eine bestimmte Meereshöhe reduziert, die Resultate der europäischen Gradmessung beispielsweise auf den Nullpunkt des Pegels in Swinemünde, da man voraussetzen durfte, daß der mittlere Wasserstand der Ostsee, die fast gar keine Flutbewegung zeigt, ein unter allen Umständen konstanter sein würde. Indem man also alle Beobachtungen auf die Voraussetzung zurückführte, daß sie in der Höhe des mittleren Wasserstandes der Ostsee ausgeführt worden wären (was immer mit genügender Genauigkeit ausführbar ist, auch wenn die für diese Reduktion verwendete Annahme über die Gestalt der Erde eine nicht völlig richtige ist, da hier gewissermaßen nur die zweiten Differenzen dieses Fehlers

in die Rechnung eingehen), zeigte es sich, daß die Länge der Breiten- und Längengrade sowohl wie die beobachteten Pendellängen, d. h. Schwereintensitäten, sich nicht genau so zueinander verhielten, wie es auf einem Rotationsellipsoid stattfinden müßte. Zieht man z. B. über die Erde hinweg die Linien gleicher Schwereintensität, wie sie aus den Pendelbeobachtungen folgt, so müßten dieselben auf einem Rotationssphäroid offenbar mit den Breitenkreisen parallel laufen; statt dessen zeigen sie die auf der untenstehenden Karte angegebene Gestalt. Man sieht, daß sie wohl im allgemeinen den Breitenkreisen folgen,



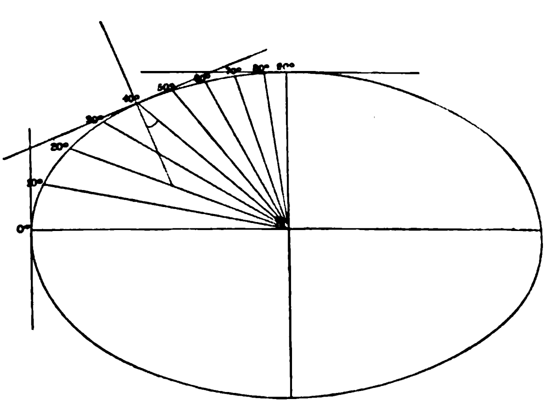
Linien gleicher Schwereintensität nach den Pendelmessungen.

jedoch Ein- und Ausbuchtungen haben, die ihren Lauf in systematischer Weise von der theoretischen Voraussetzung abweichen lassen.

Dieselbe Erscheinung wiederholt sich bei den Messungen der Längen- und Breitengrade. Verfolgt man den umgekehrten Weg, den wir beschritten hatten, um die Dimensionen der Erde selbst zu finden, indem man nunmehr das aus allen vertrauenswerten Gradmessungen abgeleitete Ellipsoid, beispielsweise das Besselsche, voraussetzt und zwei Orte, deren geographische Breiten und Längen auf astronomischem Wege genau bestimmt worden sind, auch trigonometrisch miteinander verbindet, so bleibt ein Fehler übrig, den man ehedem für einen bloßen unvermeidlichen Beobachtungsfehler hielt, während der bei den neueren geodätischen Arbeiten sich herausstellende systematische Verlauf dieses Fehlers über weite Länderstrecken hin beweist, daß eben die theoretische Voraussetzung, die Idealfläche der Erde sei ein Rotationsellipsoid, nicht richtig sein kann.

Wir wollen diese wichtige Frage noch näher ins Auge fassen. Der Hauptausgangspunkt

der preußischen Triangulation liegt in der Nähe von Berlin auf dem Rauenberge. Ein anderer Punkt des Dreiecksnetzes ist Glienick bei Zossen. Die Entfernung der beiden Orte voneinander ist geodätisch gemessen worden, indem man zwischen ihnen ein Dreiecksnetz ausspannte. Man kann aber dieselbe Entfernung auch mit Hilfe der astronomisch bestimmten Längen und Breiten finden bei Zugrundelegung einer gewissen Annahme über Größe und Form der Erde. Die erstere Ermittelung ist offenbar die richtigere, wenn wir bloße Längenmaße zu erhalten wünschen, denn ein Dreiecksnetz von verhältnismäßig so geringer Ausdehnung läßt sich immer derart genau messen, daß in der Bestimmung der Luftlinie zwischen den beiden Orten höchstens ein Fehler von einigen Zentimetern übrigbleiben wird. Statt dessen treten in diesem Gebiete der Umgebung von Berlin zwischen den Ergebnissen beider Methoden Unterschiede auf, die bis zu 4,6 m für jedes Kilometer der betreffenden Entfernung ansteigen. Zwischen dem oben erwähnten Glienick und dem Dreieckspunkte Gehrenberg sind z. B. rund 190 m Unterschied konstatiert worden. Man kann nun mit den geodätisch, d. h. durch die Triangulation gefundenen Größen die geographischen Koordinaten eines zweiten Punktes berechnen, wenn die eines ersten zunächst als richtig angenommen werden. Geht man auf diese Weise von der Station Rauenberg aus, so findet sich die geographische Breite von Glienick um 3,68″ kleiner als die auf astronomischem Weg ermittelte, desgleichen das Azimut um 0,52″. Für Gehrenberg beträgt dieser Unterschied 2,47″ in der Breite, aber nach der entgegengesetzten Richtung, im Azimut 0,74″, ebenfalls entgegengesetzt. Hätte man also Gehrenberg mit Glienick direkt verglichen, so wäre ein Breitenfehler von über 6″ zu erklären.

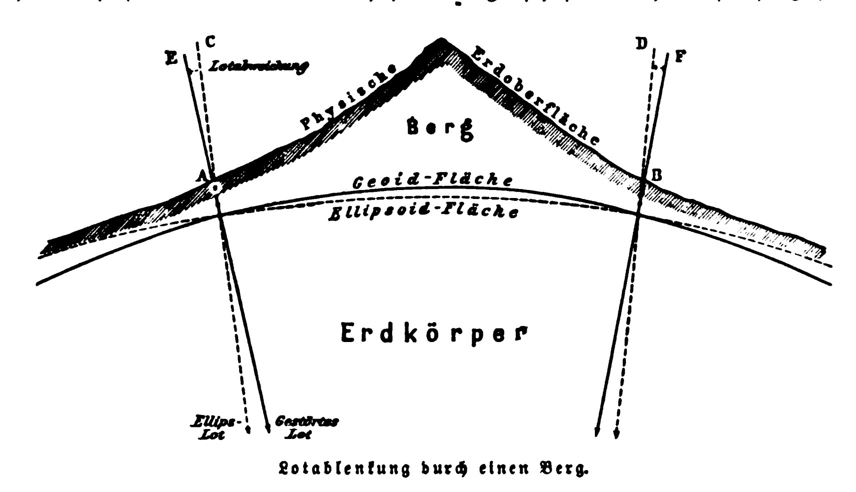


Abweichung des sphäroidischen Lotes vom Kugellot.

Man hat diese Unterschiede Lotabweichungen genannt, eine Bezeichnung, die in der Tat die vorliegende Erscheinung deutlich erklärt. Die soeben dargestellte Methode der sogenannten geodätischen Übertragungen zeigt nämlich, daß die Richtungen der Lotlinien, d. h. nichts anderes als die Richtungen nach dem Zenit eines Beobachtungsortes, von dem aus man auf astronomischem Wege die geographische Breite bestimmt (s. S. 451), zwischen zwei benachbarten Orten nicht so zueinander verlaufen, wie es bei Zugrundelegung einer bestimmten Idealfigur der Erde mathematisch nötig wäre. Man erinnert sich, daß für die Winkelmessungen mit astronomischen Instrumenten der durch die Wasserwage (Libelle) gegebene Horizont maßgebend ist; der Zenit, durch den Quecksilberhorizont u. s. w. bestimmt, ist also die wirklich beobachtete Schwererichtung des betreffenden Ortes, und die Ergänzung der gefundenen geographischen Breite zu 90 Grad ist der genaue Winkelabstand der Richtung nach dem Himmelspol mit dieser Lotrichtung. Es ist leicht zu ersehen, daß dieser auf dem Erdsphäroid nicht, wie es auf einer Kugel der Fall sein müßte, genau nach dem Mittelpunkte der Erde hinzielt. Die Ebene des Horizontes tangiert das Sphäroid unter verschiedenen Winkeln zur Richtung nach dem Erdmittelpunkte, wie man aus der obenstehenden Zeichnung erkennt. Das Lot steht aber immer senkrecht auf der

Horizontebene. Der Winkel, den das Lot mit der Richtung nach dem Erdmittelpunkte einschließt, hängt von der geographischen Breite und von der Abplattung des Sphäroids ab; nur an den Polen und am Äquator ist er gleich Null. Bei unserer geodätischen Übertragung wurde zunächst vorausgesetzt, daß die Lotrichtung für Rauenberg mit dem Besselschen Sphäroid im Einklang sei. Die Übertragung läßt dann die unter dieser Voraussetzung notwendige Lotrichtung für die anderen Stationen auf direkt messendem Wege finden, und diese eben stimmt nicht mit der wirklich stattfindenden Richtung nach dem Zenit, die das Instrument des Astronomen und der Quecksilberhorizont unzweideutig angeben. Es finden also offenbar Störungen der Schwererichtung, Lotabweichungen, statt, die sich nach sehr genauen Untersuchungen für jeden Ort als konstant erweisen.

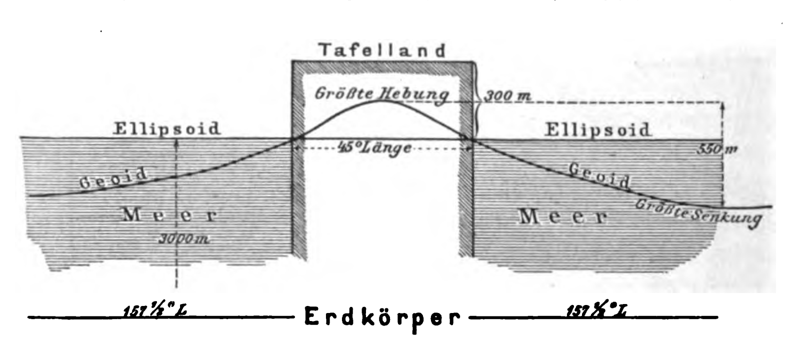
Unter gewissen Umständen erscheint eine solche Lotstörung ohne weiteres begreiflich. Die Schwerkraft ist eine aller Materie anhaftende Eigenschaft. Durch allerfeinste Instrumente,



Lotablenkung durch einen Berg.

wie die Drehwage, kann man unmittelbar nachweisen, daß eine größere Metallkugel auf eine kleinere anziehend wirkt, d. h. sie stört und aus ihrer Ruhelage herausbringt; eine solche Kugel würde also bereits ein neben ihr herabhängendes Lot aus seiner Richtung bringen. Es ist deshalb nicht zu verwundern, daß die Gebirge der Erde das Lot gleichfalls ablenken (s. die obenstehende Abbildung), ja man kann aus der Masse eines Gebirgszuges die notwendige Ablenkung des Lotes, die er hervorrufen muß, vorausberechnen. Dabei kommen recht beträchtliche Zahlen heraus; z. B. würden allein schon die Steinmassen der ägyptischen Pyramiden Ablenkungen von nachweisbarem Betrage erzeugen. Die Masse der Alpen sollte theoretisch eine Ablenkung von mindestens einer Bogenminute verursachen, und wenn hier wie an anderen entsprechenden Orten die wirklichen Ablenkungen zwar immer noch beträchtlich, in Nizza beispielsweise gleich 20″, aber doch geringer als ihr theoretischer Wert gefunden wurden, so hat dies höchstwahrscheinlich seinen Grund darin, daß sich unter den großen Gebirgsstöcken die Erdrinde aufwölbt, so daß unter ihnen Hohlräume oder doch Gebiete weniger dichter Massen bestehen. Diese Ansicht teilt die moderne Geologie gleichfalls, indem sie annimmt, daß die Gebirge durch den sogenannten tektonischen Schub als übereinandergelegte Schollen der sich aufwölbenden, bezw. berstenden Erdrinde entstanden sind.

Sehr merkwürdig sind in dieser Hinsicht die an einigen Orten deutlich nachgewiesenen negativen Lotabweichungen, d. h. scheinbaren Abstoßungen des Lotes, die von bestimmten Mittelpunkten ausgehen. Solche konnte z. B. Schweizer für die Gegend um Moskau nachweisen, wo auf diesem Wege ungeheure Aushöhlungen des Bodens, wenn auch vielleicht erst in bedeutender Tiefe unter diesem Gebiete, mit ziemlicher Wahrscheinlichkeit nachgewiesen sind. Sehr Ähnliches findet auch für das Gebiet in der Umgebung von Berlin statt. Die Lotabweichungen weisen hier auf einen Punkt etwas östlich von den Müggelbergen hin, wo in der Tiefe eine störende (d. h. scheinbar abstoßende) Masse von geringerer Dichtigkeit als die umgebende Erdrinde zu suchen ist, und es liegt die Vermutung nahe, daß die beobachtete Störung durch das ungeheure Steinsalzlager hervorgerufen wird, das sich zweifellos unter diesem Gebiete ausbreitet. An anderen Orten mit starken positiven Lotabweichungen durfte man auf spezifisch relativ schwere unterirdische Massen, etwa größere Eisen- oder Kupferlager, mit ziemlicher Bestimmtheit schließen, wie in dem in dieser Hinsicht sehr interessanten Harz. Die Genauigkeit unserer Meßkunst ist also heute so erstaunlich weit fortgeschritten, daß wir allein durch die Beobachtung des Himmels Entdeckungen in den dunkeln Tiefen der Erde zu machen vermögen.

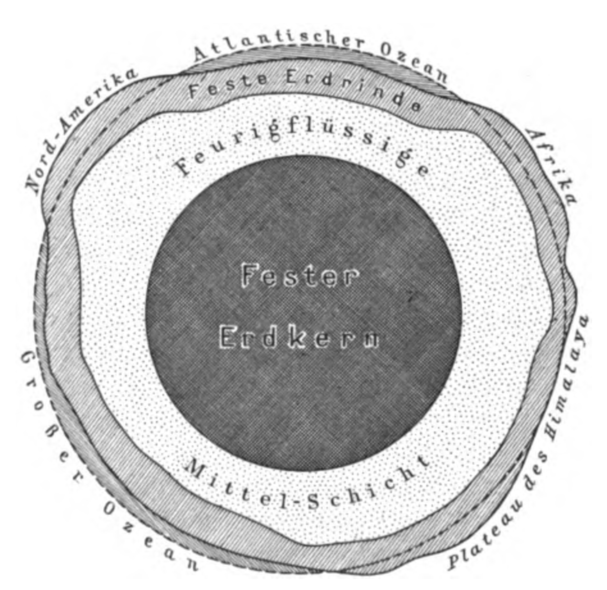


Verlauf des Geoids vom Meer zum Festland.

Die höhere Geodäsie befaßt sich heute nur damit, die Abweichungen der wahren Gestalt der Erde von einer im voraus angenommenen theoretisch einfachen Gestalt, etwa dem Besselschen Erdsphäroid, für jedes besondere Gebiet der Erdoberfläche im einzelnen zu bestimmen. Die angenommene Form gilt dann nur als Referenzfläche, über der man die der wahren Gestalt der Erde angehörende Fläche, das sogenannte Geoid, konstruiert. Das Geoid ist also eine Fläche, die zu allen auf der Erdoberfläche herabhängenden Loten senkrecht verläuft und durch einen Punkt des Meereshorizontes geht.

Daß die Abweichungen des Geoids gegen das Sphäroid beträchtlich sein können, geht aus der einfachen Betrachtung hervor, daß bereits an der Oberfläche der Erde die Massen verschiedener Dichtigkeit nicht symmetrisch verteilt sind. Die ausgedehnten Meeresbecken üben wegen der spezifisch geringeren Schwere des Wassers eine geringere Anziehungskraft aus als die daraus hervorragenden Festlandsmassen. Die Fläche des Geoids muß sich also auf den Kontinenten über die des Ellipsoides erheben, während sie auf den Meeren unter demselben bleibt (s. die obenstehende Abbildung). Unter gewissen Durchschnittsannahmen über die Masse der Kontinente und die Tiefe der Meere können Höhenunterschiede zwischen den beiden erwähnten Flächen nach oben und unten bis zu 400 m eintreten, so daß in einem System von kommunizierenden Röhren, das durch den Erdmittelpunkt gelegt würde, die Niveauunterschiede gegen die Entfernungen vom Erdmittelpunkte, die das Besselsche

Sphäroid hierfür ergeben würde, bis zu 800 m betragen könnten. Daraus folgt unmittelbar, daß eine freibewegliche Wasseroberfläche, die sich etwa in einem System von Kanälen durch die Festländer zöge, keineswegs eine regelmäßige Figur bilden, sondern bis zu 800 m hohe, feststehende Erhöhungen zeigen würde, deren Wassermasse, obgleich ihre Oberfläche gegen die wahre Durchschnittshorizontale einen merklichen Winkel bildet, doch nicht das Bestreben hat, durch Abfließen einen Ausgleich, d. h. eine vollkommen symmetrische geometrische Figur hervorzubringen. In der Tat lehnen sich solche feste Wasserberge an alle Kontinente an, da diese anziehend wirken: die Oberflächen der Weltmeere bilden konkave Flächen, und die meisten aus ihnen auftauchenden Inselgruppen würden zweifellos unter den Wogen verschwinden, wenn diese Anziehung der Festländer aufhörte. Ein Schiff, das den Ozean durchquert, behält, auch wenn es auf demselben Parallel bleibt, während seines Kurses nicht die nämliche Entfernung vom Erdmittelpunkte bei, sondern wird in der Mitte des Ozeans dem ersteren um mehrere hundert Meter näher stehen und sich dann wieder auf einer schief ansteigenden Wasserfläche von ihm entfernen. Hiervon wird man freilich auf dem Schiffe durch keinerlei Messungsmethoden irgend etwas bemerken können, denn astronomische Messungen von der hierzu nötigen Feinheit sind auf See nicht ausführbar, und das Barometer wird auch in diesem Falle nichts verraten, weil der Luftozean denselben Gesetzen folgt wie die Wasserhülle der Erde.



Erddurchschnitt im 30. Parallelkreis. Nach Faye. (Wesentlich überhöht.) Vgl. Text, S. 478.

Es gibt aber doch ein Mittel, die Senkung der Meeresflächen experimentell festzustellen, und dieses bietet wiederum das Pendel. Wenn man das Pendel auf ozeanischen Inseln schwingen läßt, so zeigt sich dort die Schwereintensität bedeutender als in den betreffenden Küstengebieten. Auf St. Helena beträgt dieser Unterschied täglich 10,3, auf Ile de France 9,9, auf den Bonin-Inseln 11,8 Schwingungen des Sekundenpendels. Aber diese Unterschiede zeigen sich doch nicht den theoretischen Erwartungen entsprechend. Zwar kann man hier genaue Rechnungen nicht anstellen, denn die Triangulationen lassen sich natürlich nicht auf die mitten im Meere gelegenen Inseln ausdehnen; die Methode der geodätischen Übertragung versagt. Aber der Unterschied in der Schwereintensität, der beobachtet wird, kann sehr verschiedene Ursachen haben: er nimmt zu durch die tiefere Lage der Insel, muß dagegen eine Abnahme erfahren durch die umgebenden Wassermassen, die spezifisch leichter sind als die Erdrinde. Aus den betreffenden Beobachtungsergebnissen scheint nun zu folgen, daß dieser Verminderung der Schwereintensität eine sehr dicke Erdrinde entgegenwirkt, die unter den Meeren sich dehnt. Dieselbe ist nach dieser Ansicht weit dicker als unter den

Festländern, und man kann sich denken, daß der Abkühlungsprozeß unter dem Meeresboden wegen des ihn beständig bespülenden kalten Wassers ein schnellerer gewesen ist als unter den Festlandsmassen; diese sind als Aufwölbungen oder gewissermaßen Gebirge ersten Grades aufzufassen, unter denen Massendefekte auftreten, wie sie die Lotabweichungen für jene sekundären Aufwerfungen nachwiesen, die als Gebirge die Festlandsmassen überhöhen (s. Abbildung auf S. 477). Hier sind wir in einem Grenzgebiete zwischen den sich mehrfach berührenden Gebieten der Geologie oder der Geophysik und der Astronomie angelangt.

Eine Zusammenfassung aller betreffenden Untersuchungen hat es gegenwärtig wahrscheinlich gemacht, daß die Erde überhaupt kein zweiachsiger, sondern ein dreiachsiger Körper, ein Tetraeder mit kugelförmig aufgewölbten Seiten ist. Die eine der drei Spitzen der Basis dieser vermuteten Pyramiden-Erdgestalt liegt in Zentralamerika, die andere im Kaukasus und die dritte in der Gegend der großen Vulkane Erebus und Terror am Südpol. Die eine Kante verläuft längs der südamerikanischen Anden bis zu jenen Südpolarvulkanen, die zweite längs der Ostküste Afrikas bis zum Kaukasus, die dritte durch die Alpen, die Rheingegend, Irland, den nordatlantischen Ozean, zu den Appalachen, bis in die Gegend des Colima, jenes großen Vulkans in Mexiko, wo die dritte Tetraederspitze liegt. Diese drei Seiten entsprechen den drei großen Bruchlinien der Erdoberfläche, wo sich in der jahrmillionenlangen erdbildnerischen Tätigkeit die Schollen noch nicht endgültig verkittet zu haben scheinen.

Die von den Festlandskomplexen auf die Wassermassen der Meere ausgeübte Anziehungswirkung muß natürlich in den verschiedenen Gebieten der Erde ebenso verschieden sein wie die Lotabweichungen. Daraus folgt, daß die an den Küsten beobachteten Mittelwasserstände keineswegs gleich sind; eben deshalb muß man alle Messungen auf einen und denselben Pegel beziehen (s. S. 472). Die Unterschiede dieser Wasserstände lassen sich durch das Präzisionsnivellement nicht finden, weil das Niveau überall der gleichen Anziehung folgt wie die festgehaltenen Wassermassen; dagegen ist der Unterschied durch geodätische Übertragung zu gewinnen. Nur wird diese Methode, wenn sie über große Festlandgebiete hinweggeführt werden soll, zu ungenau, so daß man präzise Kenntnisse von den wahren Unterschieden der Entfernungen der Nullpunkte verschiedener Pegel von dem Erdmittelpunkte durch die gegenwärtigen Beobachtungsmittel noch nicht erlangen kann.

Unter Umständen kann die Frage, wieviel die mittleren Wasserstände zweier Meere voneinander verschieden sind, eine sehr praktische Bedeutung gewinnen. Das war z. B. bei Gelegenheit der Durchstechung der Landenge von Suez der Fall. Ein vorläufiges Nivellement hatte seinerzeit einen Wasserstandsunterschied zwischen dem Mittelländischen und dem Roten Meere von zirka 10 m ergeben, und man fürchtete deshalb, daß bei Hinwegräumung der letzten Schranke zwischen diesen Meeren eine furchtbare Strömung entstehen würde, die das Riesenwerk wieder vernichten könnte. Laplace, der damals um Auskunft gebeten wurde, beruhigte indes die Unternehmer, indem er mit Bestimmtheit aussprach, daß jenes Nivellement fehlerhaft sein müsse, da die vielleicht stattfindenden Unterschiede in das Nivellement selbst mit gleichem Betrag eingehen. In der Tat hat sich, wie bekannt, der Wasserausgleich zwischen beiden Meeren sehr ruhig vollzogen.

Die sehr genaue Beobachtung und gegenseitige Vergleichung der mittleren Wasserstände der Meere, die, wie wir sahen, nur durch die allersubtilsten, auf die Ermittelung der Form des Geoids abzielenden Erdmessungen ermöglicht wird, ist aber noch für eine große Anzahl anderer Fragen von der höchsten Wichtigkeit, wenn sie auch erst in kommenden

Jahrhunderten ihre Erledigung finden können. Es ist sicher, daß die mittleren Wasserstände säkularen Veränderungen unterworfen sind, d. h. daß die Form des Geoids, die Gestalt der Erde, sich beständig ändert. An einzelnen Orten ist dies praktisch mit vollkommener Sicherheit nachgewiesen worden. Bekanntlich hebt sich die Skandinavische Halbinsel stetig weiter aus den Wogen, und zwar im Jahrhundert um mehrere Meter. Ohne weiteres ist nicht zu entscheiden, ob es das Land ist, das dem Meere entsteigt, oder ob das Niveau des Meeres hier allmählich herabsinkt. Fortgesetzte Beobachtungen der Lotabweichungen und der Intensität der Schwere können allein in der Zukunft hierüber entscheiden. Wohin aber auch das Resultat neigen mag: die Tatsache ist doch sehr merkwürdig. Hebt sich wirklich die meist aus härtestem Urgestein bestehende große Halbinsel, so zeigt dies, wie mächtig auch heute noch die erdbildnerischen Kräfte an der Gestalt unseres Weltkörpers arbeiten; ist es aber das Meer, das sich hier zurückzieht, so kann das infolge nicht minder gewaltiger Umsetzungen von Massen im Inneren der Erde hervorgerufen werden, durch welche die allgemeine Anziehungskraft hier regelmäßig vermindert wird.

Ein Teil dieser an sehr verschiedenen Orten beobachteten Verschiebungen der Küstenlinien wird sich später jedenfalls als von allgemeiner Natur, d. h. über die ganze Erde gesetzmäßig verteilt, herausstellen; die allgemeine Höhe der Meere muß mit den geologischen Zeitaltern schwanken. Da durch chemische Prozesse mehr und mehr Wasser gebunden wird, müssen die Meeresbecken mit dem zunehmenden Alter der Erde kleiner werden; geologische Umwälzungen tragen das Ihre bei, einen beständigen Wechsel des Wasserstandes hervorzurufen. Durch die Eiszeiten wurde z. B. zuzeiten so viel Wasser auf den Festlandmassen als Eis festgehalten, daß dadurch nach Überschlagsrechnungen der mittlere Wasserstand sämtlicher Meere um mehrere Zehner von Metern sank. Anderseits ist berechnet worden, daß das gegenwärtig auf den Nordpolgegenden festliegende Eis, unter der Voraussetzung, daß es bis 70 Grad Breite eine Lage von 1000 Fuß Höhe bildet, in Wasser verwandelt die Höhe eines die ganze Erde gleichmäßig umflutenden Weltmeeres um 8,7 m vergrößern würde. Ferner müssen ganz allgemeine Veränderungen der Geoidfläche entstehen, wenn etwa die Umdrehungsgeschwindigkeit der Erde sich ändert, d. h. wenn die Länge des Tages nicht ganz konstant ist. Dadurch würde sich die Wirkung der Zentrifugalkraft modifizieren, d. h. die Abplattung der Erde eine andere werden, was sich zunächst nur durch Veränderungen des Meeresspiegels kundgeben kann, während die zähen Festlandsmassen in viel langsamerem Tempo durch gebirgsbildende Verschiebungen die Gleichgewichtslage wiederfinden. Die Frage nach der Veränderlichkeit der Tageslänge ist in vieler Hinsicht eine hochwichtige; wir werden im Verlauf unserer Betrachtungen mehrfach darauf zurückzukommen haben.

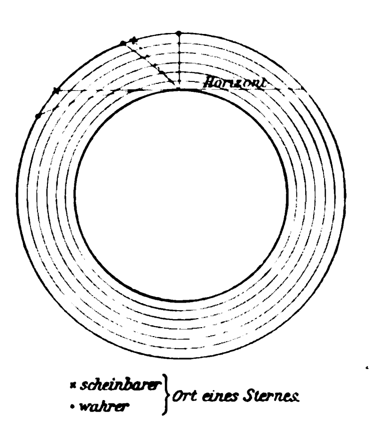
Aber noch eine Ursache kann eine allgemeine Verschiebung der Strandlinien, d. h. eine Veränderung der Geoidfläche, hervorbringen: eine etwaige Veränderlichkeit der Polhöhe. Man hat es früher immer für selbstverständlich erachtet, daß die Achse, um welche die Erde sich wirklich dreht, auch absolut mit der geometrischen oder Symmetrieachse des Erdkörpers zusammenfallen müsse. Unter der letzteren versteht man z. B. beim Sphäroid die Linie, um die rotierend das Sphäroid aus einer Ellipse entsteht; sie ist zugleich der kürzeste Durchmesser der körperlichen Figur. Wäre die Erde ein vollkommenes Sphäroid, so wäre man zu der Überzeugung berechtigt, daß ihre Umdrehungsachse genau durch ihre geometrischen Pole geht. Dies ist unter der gemachten Voraussetzung eine physikalische

Notwendigkeit. Jeder um sich selbst frei im Raume rotierende Körper hält die Richtung seiner Umdrehungsachse unter allen Umständen fest. Jedes Kind hat dies bereits am Kreisel beobachtet, der sich immer nur um seine Symmetrieachse dreht, d. h. um jene Linie, um die sein Körper absolut symmetrisch gebildet ist. Genauer haben wir statt der Symmetrieachse die Trägheitsachse zu setzen, um die rings die Massen gleichmäßig verteilt sind. Für die Erde ist dies die Linie, die durch einen Faden repräsentiert würde, an dem in ihrem Mittelpunkte die Erde frei aufgehängt gedacht werden könnte. Bringt man an den Kreisel irgendwo einen unsymmetrisch liegenden Körper an, so wird er denselben wegschleudern, wenn er es vermag, andernfalls aber in starke Schwankungen geraten, bis seine Bewegung den Störungen gänzlich unterliegt. Ist der Körper nur insoweit beweglich, daß er den Kreisel nicht verlassen, aber sich doch auf ihm verschieben kann, so wird er in eine symmetrische Lage rücken, während der Kreisel inzwischen infolge der Gegenwirkung bei der Bewegung des störenden Körpers in ein geringes Schwanken geraten ist; seine Umdrehungsachse bewegt sich dabei auf einer Kegelfläche, deren Mittellinie mit der früheren Ruhelage der Umdrehungsachse übereinstimmt. Wäre also die Erdachse auch einstmals durch irgendeine äußere Einwirkung aus ihrer Ruhelage gebracht worden, so könnte sie höchstens solche kegelförmige Schwankungen ausführen, wie sie in der Tat beobachtet werden; darauf kommen wir später zurück. Die Drehungsachse selbst bleibt aber in völliger Koinzidenz mit der geometrischen.

Anders aber kann es sich mit dem Erdkörper verhalten, so wie wir ihn jetzt kennen gelernt haben: wir wissen, daß er überhaupt keine vollkommene geometrische Gestalt hat. Welches also die Lage der betreffenden Trägheitsachse ist, können wir ohne weiteres nicht wissen; die Beobachtung der Polhöhe gibt uns nur die Lage der Drehungsachse an. Ist diese Drehungsachse nicht mehr auch die Trägheitsachse des Erdkörpers, so werden beide Achsen das Bestreben haben, sich einander zu nähern, d. h. die Drehungsachse wird sich im Erdkörper verschieben, während gleichzeitig die Massenverteilung im Erdkörper sich zu verändern strebt, damit die Trägheitsachse eine andere wird. Die letztere Erscheinung werden wir schwer sofort konstatieren können, dagegen wird sich die erstere als eine Veränderung der Polhöhe kundgeben. Da wir nun auf der Erdoberfläche fortwährende Verschiebungen der auf und über ihr befindlichen beweglichen Massen wahrnehmen, Verschiebungen, die sicher nicht eine Folge des vorerwähnten Ausgleichprozesses sind (wir erinnern hier nur an die imposanten meteorologischen Vorgänge, über die wir schon bei einer anderen Gelegenheit, S. 273, Angaben machten, um die auf der Erde geleistete Sonnenarbeit zu illustrieren), so kann auch die Trägheitsachse des Erdkörpers keine konstante Lage haben, und hiervon wieder muß eine weitere Folge nach dem Vorangehenden die Veränderlichkeit der Polhöhen sein.

Derartige Polschwankungen sind demnach ganz anderer Art als die konischen Drehungen der Rotationsachse um eine ideale Mittelrichtung, die wir als Präzession und Nutation später kennen lernen werden. Bei diesen bewegt sich die fest im Erdkörper liegende Rotationsachse mit der ganzen Erde auf einer Kegelfläche; die Polarachse zeigt also dadurch nach und nach auf andere Sterne des Himmelsgewölbes, ohne daß für einen bestimmten Ort der Erdoberfläche die Polhöhe selbst eine Veränderung erführe. Bei den hier ins Auge gefaßten Polschwankungen ist es aber der Betrag der geographischen Breite, der für alle Orte der Erdoberfläche systematischen Schwankungen unterworfen sein muß.

Da solche Veränderungen sich indes nach der Theorie in sehr engen Grenzen halten mußten, so blieb es der allerneuesten Zeit, in der die Beobachtungskunst eine so bewunderungswürdige Schärfe erreicht hat, vorbehalten, ihr wirkliches Vorhandensein nachzuweisen. Zur Zeit Tycho Brahes, mit dem die astronomische Meßkunst eigentlich erst beginnt, gehörte eine Bestimmung der geographischen Breite bis auf eine Bogenminute noch zu den vorzüglichsten Leistungen. Um die Mitte des 18. Jahrhunderts, als man begonnen hatte, das Fernrohr zu Meßzwecken zu verwenden, waren fünf Bogensekunden etwa als Genauigkeitsgrenze für Bestimmungen dieser Art zu setzen. Anfang des 19. Jahrhunderts war die betreffende Unsicherheit etwa auf eine Sekunde herabgedrückt; und erst durch Bessel, den Vater unserer modernen Präzisionsmeßkunst, wurden geographische Breiten bis auf etwa 0,1" bestimmt. Heute besitzt man Methoden, nach denen die Polhöhe bis auf einen Fehler von 0,02" bestimmbar ist, soweit nicht etwa systematische Fehlerquellen, die in demselben Sinne wirken wie die gesuchten Polhöhenschwankungen, das Gesamtresultat entstellen.



Wirkung der Refraktion oder atmosphärischen Strahlenbrechung. Vgl. Text, S. 482.

In einer möglichen Vermischung zweier oder mehrerer Ursachen, die nahezu denselben Einfluß auf das Endresultat üben, liegt die Hauptschwierigkeit derartiger Untersuchungen von alleräußerster Feinheit. Schon im 18. Jahrhundert hatte der berühmte Mathematiker Euler die Möglichkeit ähnlicher Schwankungen ins Auge gefaßt, und er vermochte unter gewissen theoretischen Voraussetzungen nachzuweisen, daß, wenn sie überhaupt stattfänden, sie in eine Periode von etwa 306 Tagen eingeschlossen sein müßten. Anderseits fand Thomson aus einer Schätzung der Massen, die jährlich durch meteorologische Vorgänge ihren Ort auf der Erdoberfläche ändern, daß die Polschwankung selbst wohl bis zu einer halben Bogensekunde ansteigen könne. Die maximale Schwankung, die man zu messen hatte, betrug also so viel, daß das Objektiv eines Meridiankreises von mittlerer Größe eine etwa den 30. Teil einer Haaresbreite verschiedene Stellung zum Horizont dadurch einnehmen mußte. Diese dreißigstel Haaresbreite aber mußte man versuchen, noch in viel kleinere Teile zu zerlegen, um nicht nur die maximale Schwankung, sondern auch ihre Gesetzmäßigkeit herauszufinden. Die Eulersche Periode ist nun nicht sehr wesentlich von einem Jahre verschieden, so daß Temperatureinflüsse auf das Instrument, die gleichfalls eine jährliche Periode haben müßten und sich vielleicht doch noch der peinlichsten Untersuchung des Instrumentes hinsichtlich seiner Fehler entziehen, eine ähnliche Schwankung wohl zeigen könnten.

In demselben Sinne störend konnte ferner die atmosphärische Refraktion wirken. Wir haben schon an anderer Stelle erfahren, daß die uns rings umgebende Atmosphäre ebenso die Lichtstrahlen von dem ursprünglichen Wege ablenken muß, wie es durch die optischen Linsen unserer Fernrohre geschieht. Nur ist diese ungeheure Kugellinse unserer Lufthülle von sehr großer Unregelmäßigkeit und hat überhaupt alle Eigenschaften eines sehr schlechten Objektivs. Wie gut wir deshalb auch unsere optischen Hilfsmittel herstellen mögen, immer bleiben die mehr oder weniger regelmäßigen Ablenkungen des Lichtstrahls

übrig, die das wahre Bild des Himmelsgewölbes für unser menschliches Auge verzerren. Wäre die Atmosphäre wenigstens ein unveränderlicher Körper, so könnte man schließlich ihren Einfluß auf den Gang der Lichtstrahlen mit völliger Genauigkeit ermitteln. Die Theorie der Strahlenbrechung überhaupt zeigt, daß die Ablenkung eines Lichtstrahles immer an der Grenze zweier Medien von verschiedener Dichtigkeit eintritt, und daß die Größe der Ablenkung abhängig ist erstens von der Dichtigkeit der Medien und zweitens von dem Winkel, unter dem der Strahl von dem einen zum anderen Medium übergeht. Ist der Strahl senkrecht oder, wie man sich mathematisch ausdrückt, normal zur brechenden Fläche, so erfährt er keine Ablenkung; sie wird dagegen zu einem Maximum bei streifendem Eintritt.

Daraus folgt zunächst, wie man auch aus der Abbildung auf S. 481 unmittelbar ersieht, daß Sterne im Zenit des Beobachtungsortes keine Ablenkung erfahren, ihr scheinbarer Ort also, wie wir ihn sehen, mit dem wahren Ort übereinstimmt. Je mehr der Stern sich aber vom Zenit entfernt, desto mehr muß sein Licht abgelenkt werden, und zwar geschieht dies, wie die Theorie wenigstens für eine symmetrisch angeordnete Atmosphäre ergibt, immer so, daß der Stern scheinbar gehoben wird. Der Strahl macht stets eine Krümmung gegen die Erde hin, weil er auf seinem Wege von den Grenzen der Atmosphäre bis zur Erdoberfläche an Dichtigkeit zunehmende Luftschichten zu durchdringen hat, die den Strahl immer kräftiger ablenken. Wir sehen also in Wirklichkeit keineswegs geradeaus, sondern im Bogen, wenn wir die Sterne betrachten. Die normale Refraktion ändert infolgedessen nur den Höhenwinkel eines Sternes, nicht sein Azimut. Da nun jeder Stern vermöge der täglichen Bewegung seine Höhe beständig ändert, und es sich theoretisch mit vollkommener Genauigkeit berechnen läßt, wieviel diese Höhenänderung für einen bestimmten Zeitraum beträgt, soweit sie nur von der täglichen Bewegung herrührt, so kann man aus den etwa mit dem Altazimut wirklich gemessenen Höhen den Betrag der Refraktion für jede Höhe bestimmen. Dabei zeigt sich, daß der Einfluß der atmosphärischen Strahlenbrechung ein sehr merklicher ist, wie man aus der folgenden Tabelle ersehen mag.

Besselsche Refraktionstafel. Refraktion $= \alpha(1-\beta-\gamma)$.

Zenitdistanz Z.	Mittlere Refraktion α	Zenitdistanz Z.	Mittlere Refraktion α	Barometer bei 0° in Mill.	β	Lufttemperatur in Cent.	γ
0°	0,0″	70°	2′ 37,3″	695	0,075	—15°	—0,094
10°	10,2	75°	3 32,1	700	0,069	10°	0,073
20°	21,0	80°	5 16,2	705	0,062	— 5°	0,053
30°	33,3	85°	9 46,5	710	0,055	0°	0,034
40°	48,4	86°	11 38,9	715	0,049	+ 5°	—0,015
45°	57,7	87°	14 14,6	720	0,042	10°	+0,002
50°	1′ 8,7	88°	18 8,6	725	0,035	15°	0,020
55°	1 22,3	89°	24 24,6	730	0,029	20°	0,036
60°	1 39,7	90°	34 54,1	735	0,022	25°	0,052
65°	2 3,2			740	0,015	+30°	+0,068

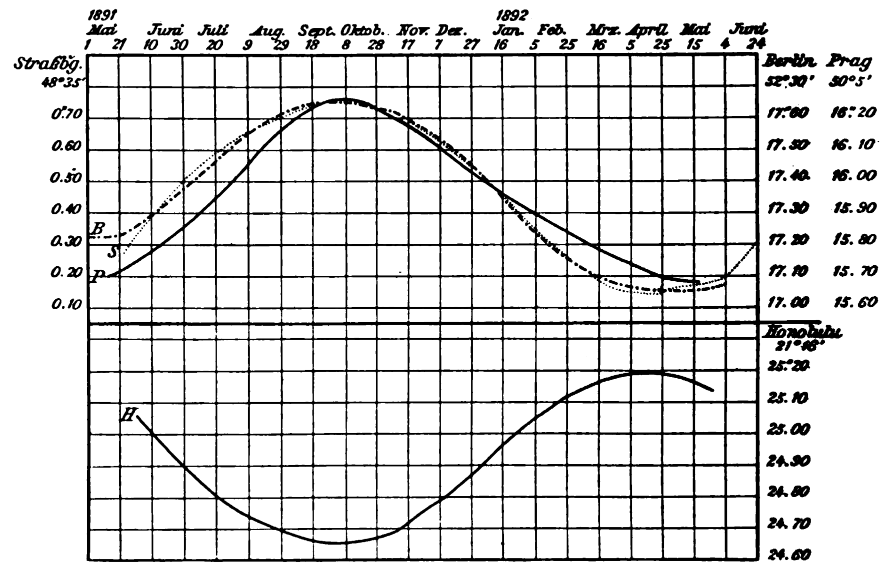
Für eine Zenitdistanz, in der wir in unseren Breiten die Polhöhe messen, beträgt die Refraktion schon einige vierzig Bogensekunden; gegen den Horizont hin wächst sie dann sehr schnell bis auf etwa 35 Minuten an. Da nun der scheinbare Durchmesser der Sonne stets kleiner ist als dieser Winkel, so wird beim Aufgang und Untergang ihr Bild um mehr, als ihre ganze Größe beträgt, gehoben, d. h. wir sehen sie schon vollständig aufgegangen, wenn in Wirklichkeit sich ihr ganzer Körper noch unter dem geometrischen Horizont befindet. Die

Größe dieses Ablenkungswinkels zeigt sich überdies auch bei gleicher Höhe nicht konstant; die Refraktion ist, wie theoretisch vorauszusehen war, sowohl vom Barometerstande wie von der Lufttemperatur abhängig. In unserer Tabelle sind die betreffenden Koeffizienten beigegeben. Bei höherem Barometerstande wird die gesamte Atmosphäre über uns mehr zusammengedrückt; sie wirkt deshalb kräftiger lichtbrechend. Durch erhöhte Temperatur dehnt sich dagegen die Luft aus, wird leichter und lenkt folglich den Strahl weniger ab.

Den ersteren Einfluß können wir genau berücksichtigen, denn das Barometer gibt das Gewicht der ganzen Luftsäule über uns unmittelbar an. Mit dem Temperatureinfluß dagegen steht es viel bedenklicher, denn wir können immer nur die Temperatur der untersten Luftschicht messen. Es kann aber von vornherein nicht angenommen werden, daß die Änderung der Refraktion mit der Änderung der Temperatur der unteren Luftschichten allein in einer ganz gesetzmäßigen Beziehung steht, denn dies würde voraussetzen, daß die Temperaturabnahme mit der Höhe über der Erdoberfläche in gesetzmäßiger Weise stattfände. Dies ist aber keineswegs der Fall; die auf meteorologischen Höhenstationen und in Luftballons angestellten Beobachtungen haben sogar gezeigt, daß unter Umständen völlige Temperaturumkehrungen stattfinden können, so daß einige tausend Meter über der Erdoberfläche wochenlang eine wesentlich höhere Temperatur herrscht als auf der Erdoberfläche unmittelbar am Fuße der betreffenden Bergstation. Diese Temperaturumkehrungen sind in gewissem Sinne von der Jahreszeit abhängig und jedenfalls im Winter sehr viel häufiger als im Sommer. Da der Astronom nun aber Bestimmtes über die augenblickliche Durchschnittstemperatur der Luftschichten nicht erfahren kann, die der Lichtstrahl von einem Sterne, der zu Messungen verwertet werden soll, eben durchdringt, so ist er auf die Annahme einer gewissen gleichmäßigen Konstitution der Atmosphäre angewiesen, vermöge deren er eine Durchschnittstemperatur aus der in den unteren Schichten gemessenen Luftwärme ableitet. Auch der Astronom erwartet angesichts dieser übrigbleibenden, für seine interessantesten Untersuchungen sehr empfindlichen Unsicherheit ebenso wie der Meteorolog die wichtigsten Aufschlüsse von den wissenschaftlichen Ballonfahrten, deren Ziel in neuester Zeit in der Erforschung der Zustände der Atmosphäre wenigstens bis zu den ersten zehn Kilometern über die Oberfläche hinaus besteht.

Da meteorologisch abnorme Zustände von der Art der Temperaturumkehrungen mit den Jahreszeiten im Zusammenhang stehen, wie alle meteorologischen Vorgänge, so sind etwaige fehlerhafte Annahmen über die Refraktionswirkungen vermutlich gleichfalls einer jährlichen Periode unterworfen; und hier kommen wir auf den Ausgangspunkt unserer Abschweifung zurück und sehen, daß wir bei Ermittelung der Polhöhenschwankungen einen möglichen Fehler in unseren Annahmen über die Refraktionswirkung nach Kräften ausschließen müssen. Die früher geschilderte Methode der Polhöhenbestimmung (S. 451) ist deshalb für diese Zwecke nicht mehr geeignet, weil die in der Nähe des Himmelspols befindlichen Sterne für unsere Breiten schon zu starke Refraktionswirkungen erleiden. Man mußte deshalb nach einer Methode suchen, bei der man Sterne in möglichster Nähe des Zenites anwenden konnte. Einfach die Höhen solcher Sterne mit dem Meridiankreis zu messen, wodurch man die Polhöhe wohl erhalten kann, wenn man die Deklination des betreffenden Sternes als bekannt voraussetzt, war für diese Zwecke nicht angängig, weil außer dem Fehler in der Annahme dieser Deklination konstante Fehler des Meridiankreises allzusehr ins Spiel kommen würden; denn während der ganzen Messungsreihe bleibt das Instrument in nahezu

gleicher Lage, wenn nur in der Nähe des Zenites beobachtet wird. Man hat deshalb ein besonderes Instrument speziell für diese feinsten Polhöhenmessungen erfunden, das im großen und ganzen einem Altazimut ähnlich ist. Darin stellt man einen in der Nähe des Zenites befindlichen Stern ein, befestigt das Instrument gleichzeitig derart, daß es sich nur noch um seine vertikale Achse bewegen kann, und dreht es um 180 Grad, um die Zenitdistanz eines anderen Sternes zu messen, der auf der anderen Seite des Zenites in ungefähr gleicher Entfernung von ihm kulminiert, so daß er im Gesichtsfelde des Fernrohres nach seiner Drehung um 180 Grad sichtbar ist, ohne daß das Instrument in der Höhenrichtung eine andere Lage erhalten hat. Die kleine übrigbleibende Differenz der Zenitdistanzen beider Sterne wird



Kurven der Polhöhenschwankungen in Berlin, Prag, Straßburg und Honolulu. Vgl. Text, S. 485.

mit dem Mikrometerfaden ausgemessen. Man findet dann nach dieser Horrebow-Talcottschen Methode die Polhöhe $\varphi = \frac{1}{2}(\delta + \delta') + \frac{1}{2}(z - z')$, wo δ und δ' die Deklinationen der Sterne, z und z' die stattfindenden Zenitdistanzen bedeuten.

Die Methode hat den besonderen Vorzug, daß sie von Teilungsfehlern des Instrumentes frei wird, da man nur die mit dem Mikrometerfaden gemessene Differenz der beiden Zenitdistanzen in die Rechnung einführt. Da die Refraktion in der Nähe des Zenites, wie wir wissen, überhaupt klein ist und etwaige fehlerhafte Annahmen über den Zustand der Luft gerade über dem Haupte des Beobachters zu beiden Seiten des Zenites doch mit großer Wahrscheinlichkeit den gleichen Betrag haben werden, der wiederum aus der Differenz der beiden Zenitdistanzen herausfällt, so bleibt nur noch die Unsicherheit über die Deklinationen der angewandten Sterne übrig. Man benutzt deshalb nur solche Sterne, die sehr vielfach unter den verschiedensten Breiten beobachtet wurden, z. B. die Fundamentalsterne. Aber auch ein sich hierdurch etwa einschleichender Fehler könnte den Wert der Polhöhe doch nur um eine konstante Größe beeinflussen. Beobachtet man aber während einer langen Zeit dieselben Sterne, so werden Schwankungen der Polhöhe sich mit denkbar größter Sicherheit durch diese Methode ermitteln lassen.

Obgleich eine so genaue Methode von Bessel noch nicht angewandt werden konnte, war dieser große Beobachter doch bereits im Jahre 1844 zuerst einer Polhöhenschwankung auf die Spur gekommen, die etwa den Betrag von 0,3″ erreichte. In einem Briefe an Humboldt schrieb er damals: „Ich denke an innere Veränderungen des Erdkörpers, welche Einflüsse auf die Richtung der Schwere erlangen.“ Bessel hat indes die Angelegenheit später nicht weiter verfolgt. Erst bei der Konferenz der europäischen Gradmessung zu Rom im Jahre 1883 wurde die Frage von Fergola wieder angeregt, und bald darauf fand Küstner, der derzeitige Direktor der Bonner Sternwarte, damals noch Observator an der Sternwarte zu Berlin, eine Schwankung der Polhöhe von Berlin von 0,20″ auf. Da man aber immer noch an die Möglichkeit systematischer Fehler anderen Ursprungs glauben konnte, so wurden nun Nachforschungen angestellt, ob auf anderen Sternwarten, auf denen entsprechende Präzisionsbeobachtungen in derselben Zeit gemacht worden waren, in der nämlichen Zeit gleiche Schwankungen nachzuweisen waren, was sich in der Tat für Pulkowa und Gotha bestätigte. Nun endlich mußte die Frage in Fluß geraten, so daß die hierbei sehr wesentlich interessierte europäische Gradmessungskommission im Jahre 1888 zu Salzburg beschloß, nach der vorhin beschriebenen Methode an verschiedenen Orten gleichzeitig die Polhöhe während einiger Jahre auf das genaueste zu verfolgen. Es ergaben sich in Übereinstimmung miteinander in **Berlin**, **Potsdam** und **Prag** folgende Beobachtungsreihen:

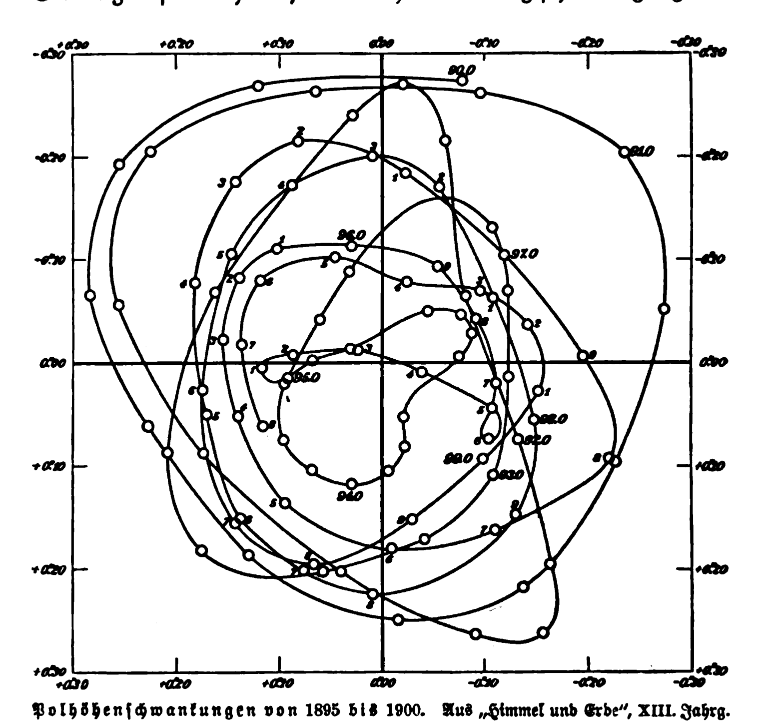
Polhöhenschwankungen in Berlin, Potsdam und Prag.

Berlin			Potsdam			Prag		
8. Okt. 1889:	52°30′17,53″		3. Okt. 1889:	52°22′56,31″		27. Sept. 1889:	50°5′16,04″	
4. Nov. 1889:	17,39	—0,14″	29. Dez. 1889:	56,02	—0,29″	4. Nov. 1889:	15,85	—0,19″
23. Nov. 1889:	17,28	—0,11	10. Jan. 1890:	55,99	—0,03	16. Nov. 1889:	15,69	—0,16
1. Jan. 1890:	17,08	—0,20	29. Jan. 1890:	55,90	—0,09	13. Jan. 1890:	15,55	—0,14
10. Jan. 1890:	17,12	+0,04						
26. Jan. 1890:	17,04	—0,08						

Die Polhöhe schwankte also von 1889—90 an den drei Orten gleichzeitig und in demselben Sinne um 0,4″—0,5″. Aber immer noch war bei so haarspalterischen Dingen der Einwand möglich, daß während dieser Zeit der Zustand der Atmosphäre auch am Zenit und über große Ländergebiete hin ein um diese geringe Größe abnormer gewesen sei, so daß die Refraktion dennoch im Spiele blieb. Angesichts der sehr großen Wichtigkeit der Frage beschloß deshalb die erwähnte Erdmessungskommission 1890, daß diese Schwankungen während der Zeit eines Jahres an zwei Orten, die soweit als möglich antipodisch zueinander liegen, genau untersucht werden sollten; dann mußte der Betrag der Schwankung für die beiden Orte zwar der gleiche sein, aber im entgegengesetzten Sinne wirken. Man wählte für diese beiden Orte **Berlin** und **Honolulu** auf **Hawaii**. Der Längenunterschied beider Orte ist fast genau 180 Grad, worauf es hauptsächlich ankam, während der Breitenunterschied 30 Grad beträgt. Als Beobachter wurden von Berlin Marcuse, von amerikanischer Seite Preston nach Honolulu gesandt, wo beide vom Mai 1891 an ein Jahr lang nach der Horrebowschen Methode Polhöhen maßen. Die auf Seite 484 stehenden Kurven zeigen, mit welcher fast absoluten Übereinstimmung, doch, wie es sein mußte, in umgekehrtem Sinne, die Polhöhe damals auf den beiden Erdhalbkugeln schwankte. (Neben der Kurve von Berlin sind auch noch die von Prag und Straßburg eingezeichnet, wo zur Kontrolle gleichartige Beobachtungen stattfanden.) Nun konnte keine Rede mehr von gleichartig wirkenden

atmosphärischen oder instrumentellen Einflüssen sein. Das Vorhandensein von wirklichen Polhöhenschwankungen, also von Änderungen der Lage der Umdrehungsachse im Inneren des Erdkörpers, war damit streng bewiesen.

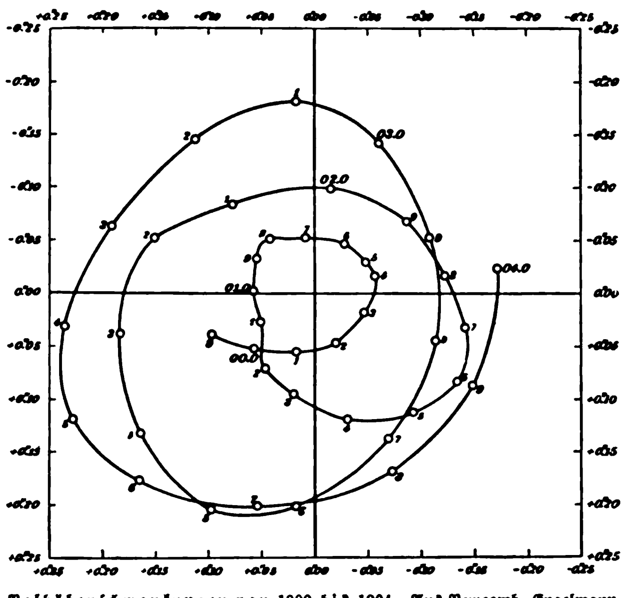
Aber diese Schwankung stellte sich nicht so regelmäßig in ihrem zeitlichen Verlaufe dar, wie es nach der Eulerschen Theorie hätte der Fall sein müssen, die von der einfachsten, in Wirklichkeit nicht zutreffenden Voraussetzung ausgeht, daß sie als Folgeerscheinung eines nur einmaligen störenden Anstoßes aufzufassen sei. In Wirklichkeit wiederholen sich die Störungen fortwährend, die durch meteorologische Vorgänge bedingten z. B. jährlich. Da man die Gesamtheit solcher störenden Einflüsse keineswegs kennt oder auch nur zu beziffern vermag, so war es am besten, ohne irgendwelche Voraussetzung über die Periode sie aus den Beobachtungen selbst abzuleiten. Man begründete deshalb einen internationalen Dienst für die Verfolgung dieser Polschwankungen, indem man nachstehend bezeichnete sechs auf demselben Breitengrade von 39° 8′ rings um die Erde herum verteilte und genau gleichartig ausgerüstete Stationen errichtete: Mizusawa in Japan, Tschardjui an der Bahnlinie nach Samarkand in Zentralasien, Carloforte auf Sardinien, Gaithersburg unweit Washington, Cincinnati (Ohio) und Ukiate in Kalifornien. Von diesen Punkten aus wird an jedem klaren Abend mit denselben Sternen nach der vorhin beschriebenen Methode die jeweilige Lage der Polarachse bestimmt. Die Beobachtungen werden auf dem Geodätischen Institut zu Potsdam bearbeitet. Albrecht, der Leiter dieses Instituts, hat die Resultate, die teils aus diesem internationalen Polhöhendienste, teils aus früheren Beobachtungen erhalten wurden, zusammengestellt. Wir geben danach in dem oben und Seite 487 stehenden Diagramm die Bewegungen der Pols zwischen 1895 und 1904 wieder. Am Rande sind Hundertstel-Sekunden angegeben, nach deren Maßstab die Schwankungen sich bemessen. Jeder dieser Hundertstel-Bogensekunden entspricht eine Wanderung des Pols auf der Erdoberfläche von 3 Dezimetern. Danach schwankte also der Pol bis je innerhalb eines Weges von etwa 17 Metern in den extremen Lagen nach allen Richtungen hin und her. Aber wir sehen zugleich, in welcher verwickelten Weise dies geschieht, die kaum eine andere Regel zu haben scheint, als daß die Kurve ganz



Polhöhenschwankungen von 1895 bis 1900. Aus „Himmel und Erde“, XIII. Jahrg.

ungefähr nach Jahresfrist wieder in sich zurückkehrt. Chandler glaubt aus den Beobachtungen eine 427tägige Periode herauszufinden. Nach Hahn scheint ein Zusammenhang zwischen den vulkanischen, bezw. Erdbebenerscheinungen und den Polschwankungen zu bestehen, die sich sogar ein ganzes Jahrhundert zurückverfolgen lassen.

Von größter Wichtigkeit für die Förderung unserer Anschauungen über gewisse vorzeitliche geologische und klimatologische Vorgänge auf der Erdoberfläche wird die Entscheidung der Frage sein, ob diese Polhöhenschwankungen sich innerhalb eines bestimmten Mittelwertes vollziehen, oder ob sie zugleich auch eine auf der Erdoberfläche mehr oder weniger in der Richtung eines Meridians fortschreitende Bewegung haben, was aus den bisherigen Beobachtungen nicht hervorgeht. Wie wir noch näher sehen werden, ordnen sich die Begrenzungen der klimatischen Zonen um diesen wirklichen Drehungspunkt der Erdoberfläche und nicht etwa um die Lage der geometrischen Erdachse. Je nachdem dieser Punkt auf der Erdoberfläche wandert, verschieben sich mit ihm die Grenzen der Zonen. Also auch die polaren Eiskalotten haben dann keine konstante Mittellage mehr. Wenn nun im Laufe der sehr großen Zeitabschnitte, mit denen die geologischen Alter der Erde gemessen werden müssen, eine im allgemeinen gleichgerichtete Polhöhenveränderung stattfand, die schließlich zu ganzen Graden anwuchs, so würden sich dadurch die zeitweiligen und periodisch wiederkehrenden Vereisungen großer Ländergebiete auf das einfachste erklären, die sicher nachgewiesen wurden, während ihre Ursachen bisher noch gänzlich geheimnisvoll geblieben sind. Mit der Verlegung der Umdrehungsachse der Erde verschiebt sich sofort auch die Form ihres sphäroidischen Wassermantels. Es entstehen dadurch periodische Niveauveränderungen der Meere. Verfasser glaubt in der Tat nachweisen zu können, daß die im Golf von Neapel stattfindenden Schwankungen der Meereshöhe, die sich z. B. an den berühmten Säulen des Serapistempels bei Pozzuoli jährlich nach einigen Zentimetern bemessen, durch die beobachteten Polschwankungen zu erklären sind. Hätten die Pole in geologischen Zeitläufen ihre Lage um Zehner von Graden geändert, so wären dadurch Niveauschwankungen der Meere um einige hundert Meter verursacht worden, die eine Reihe von Rätseln der Erdgeschichte lösen würden.



Polhöhenschwankungen von 1900 bis 1904. Aus Newcomb-Engelmann, „Populäre Astronomie", 3. Aufl., Leipzig 1905. Vgl. Text, S. 486.

Zu diesen Rätseln gehören auch die unter hohen Breiten gemachten Funde versteinerter Reste nur in südlichen Gegenden lebender Geschöpfe. Freilich müßte man, um so große Polhöhenverschiebungen zu erklären, nach Ursachen suchen, die während einer langen Zeit

im gleichen Sinne wirken. Bei den meteorologischen Vorgängen wird diese Bedingung nicht erfüllt, weil hierbei, soweit wir sehen, die betreffenden Massen in gleichem Umfange hin- und wieder zurück geschafft werden. Gewisse mittelbar damit zusammenhängende Vorgänge geschehen indes auch vor unseren Augen immer nur in der nämlichen Richtung; dahin gehören die Abtragungen von Landmassen, die durch die Flüsse in die Meeresbecken geschafft werden. Die Menge der auf diese Weise transportierten Stoffe schätzt Waters auf jährlich mehrere tausend Millionen Tonnen. Aber diese Massen sind jedenfalls verschwindend klein gegen die Verschiebungen und Erhebungen, welche die Festländer heute noch durch geologische Prozesse erleiden oder in früheren Zeitaltern erlitten haben. Schwahn in Berlin hat berechnet, daß eine Hebung oder Senkung des europäisch-asiatischen Festlandes um nur 1 cm eine Verschiebung des Poles um 0,42 m hervorbringen müßte, und Haughton fand für die gesamte geologische Arbeit der Erhebung aller vorhandenen Kontinente über den Meeresboden eine Polverschiebung von 111 km.

Zu diesen auf der Erde selbst zu suchenden Wirkungen kommt noch eine Anzahl kosmischer Wirkungen, die eine Folge der im Laufe der geologischen Zeitalter veränderlichen Beziehungen zwischen der Erde und ihrem Monde und zur Sonne sind; ihre Art werden wir indes erst später verstehen lernen. Die kosmischen Einwirkungen auf die Bewegungen der Erdachse im Inneren des Planeten können unter Umständen noch weit größer gewesen sein als die vorhin betrachteten, während anderseits auch Gegenwirkungen, beispielsweise durch große Flutwellen, eintreten müssen, die durch solche Massenverschiebungen gleichzeitig miterzeugt werden. Wir sehen also, daß die Frage der Polhöhenschwankung sich mehr und mehr verwickelt, je weiter wir dieses interessante Grenzgebiet bearbeiten, das sowohl an die mathematische Theorie wie an die astronomische Meßkunst die höchsten Anforderungen stellt. Wir müssen es einer kommenden Zeit überlassen, hier völlige Klarheit zu verbreiten.

Ehe wir unsere Betrachtungen über die Dimensionen der Erde abschließen, müssen wir uns aber noch mit einem Größenverhältnis des Erdkörpers beschäftigen, das eine wichtige Rolle bei der Abwägung des gegenseitigen Einflusses der Himmelskörper aufeinander spielt: mit der Masse des Erdkörpers.

Physikalische Untersuchungen haben ergeben, daß die von einem Körper scheinbar ausstrahlende Schwerkraft seinem Masseninhalt genau proportional ist. Die Masse der Erde zieht einen in der Nähe ihrer Oberfläche befindlichen Körper derart an, daß er in der ersten Sekunde einen Weg von 4,9 m zurücklegt; wie schwer der fallende Körper ist, ist dabei ganz gleichgültig. Die in der Luft beobachteten Unterschiede in der Schnelligkeit des Falles entstehen durch den verschiedenen Widerstand der Luft. Ganz strenggenommen ist dies jedoch nicht richtig, denn so gut wie die Erde den fallenden Körper anzieht, zieht auch seinerseits der fallende Körper die Erde an, so daß auch die letztere zu ihm hinfällt; dies geschieht aber im Verhältnis der Masse des Körpers zur Erdmasse, d. h. wenn der Körper ½ kg wiegt, so ist der Fallraum, den die Erde gegen den kleinen Körper hin zurücklegt, gleich 4,9 m dividiert durch die Anzahl von Kilogrammen, welche die Erde schwer ist. Begreiflicherweise muß diese Zahl so verschwindend klein werden, daß sie auch für unsere feinsten Messungen außer Betracht bleibt. Würden wir diesen Fallraum wirklich messen können, so hätten wir damit die Erde sozusagen auf die Wagschale gelegt und in Kilogrammen abgewogen.

Auf indirektem Wege ist es wirklich möglich gewesen, diese Abwägung der Erdkugel vorzunehmen. Zuerst geschah dies einigermaßen erfolgreich durch Cavendish mit Hilfe

der sogenannten Drehwage (s. auch oben, S. 475, und des Verfassers „Naturkräfte“, S. 52ff.). Dieses im Prinzip sehr einfache Instrument besteht aus zwei kleinen Kugeln, die an den Enden eines seinerseits wieder an einem ungezwirnten Faden frei schwebenden Metallstabes befestigt sind. Wenn nun dafür gesorgt ist, daß keine störenden Einflüsse auf die Kugeln wirken, so führt der Arm, an dem sie hängen, keine Bewegung aus; bringt man sie aber vorsichtig aus dieser Ruhelage, so beginnen sie vermöge der Torsion des Aufhängungsfadens hin und her zu pendeln, bis sie nach einer gewissen Anzahl von Schwingungen wieder zur Ruhe kommen. Die Anzahl dieser Schwingungen zeigt sich verschieden bei verschiedenen äußeren Widerständen, welche die Torsion des Fadens dabei zu überwinden hat; und zwar reagiert das Instrument dabei auf außerordentlich feine Unterschiede.

Bringt man nun in die Nähe einer dieser pendelnden Kugeln eine schwere Masse, so muß ihre auf die kleine schwingende Kugel ausgeübte Anziehungskraft die Anzahl der Schwingungen vermindern, was in der Tat beobachtet werden konnte. Man hatte hierdurch ein Maß dieser Anziehungskraft der schweren Masse gefunden, das ohne weiteres mit der Kraft verglichen werden kann, mit der die Erde ihrerseits die störende Masse anzieht. So fand aus einer großen Anzahl sehr feiner Messungen, bei denen alle anderen störenden Einflüsse auf das sorgfältigste vermieden waren, Reich im Jahre 1838, daß die Erde rund 5900 Trillionen Tonnen zu je 1000 kg schwer sei.

Von einer solchen Zahl, die noch dazu als ziemlich ungenau bezeichnet werden muß, kann man sich keine Vorstellungen machen; man hat es deshalb vorgezogen, bei entsprechenden Versuchen nicht dieses Gewicht der Erde, sondern dafür ihre mittlere Dichtigkeit zu bestimmen und anzugeben. Man nennt eine Materie um so dichter, je schwerer sie bei gleichem Volumen ist. Als Einheit bei dieser Vergleichung dient das Wasser. So ist z. B. die Dichte des Eisens gleich 7,8; d. h. 1 cdm Eisen wiegt 7,8 kg, weil nach dem Metersystem 1 cdm, d. h. 1 Liter Wasser 1 kg wiegt. Da wir nun den Kubikinhalt der Erde für den ins Auge gefaßten Zweck mit genügender Genauigkeit kennen (er beträgt nach den Besselschen Erddimensionen 1,082,841,320,000 ckm), so wissen wir auch, wie schwer die Erde sein würde, wenn sie ganz aus Wasser bestände. Teilen wir durch diese Zahl ihr wirkliches Gewicht, so erhalten wir die mittlere Dichtigkeit der Erdmasse, die sich aus den oben angeführten Experimenten von Reich gleich 5,44 herausstellt. Man hat diese Verhältniszahl noch auf mancherlei anderen Wegen ermittelt, so auch durch die erwähnten Beobachtungen der Lotabweichungen. Diese sind, wie wir wissen, Folgen besonderer Massenanziehungen, etwa von in der Nähe befindlichen Gebirgen. Wenn man nun neben dem beobachteten Betrage der Lotabweichung die Schwere der gesamten Gebirgsmasse ermitteln kann, die jene besondere Anziehungskraft ausübt, so ist damit das Experiment der Drehwage in riesigem Maßstabe wiederholt.

Die Schwierigkeit liegt hier in der Ermittelung des Gewichtes des Gebirgsstockes. Man kann es nur finden, indem man dessen Rauminhalt und anderseits die mittlere Dichte der das Gebirge zusammensetzenden Gesteine bestimmt. Das erstere wird nur bei einigermaßen regelmäßiger Form des Berges mit einiger Sicherheit ausführbar sein. Mendenhall wählte deshalb für diesen Zweck den berühmten japanischen Vulkan Fujiyama, der eine außerordentlich regelmäßige Kegelform hat und mutmaßlich seinem ganzen Inhalte nach aus gleichartigen vulkanischen Auswurfstoffen besteht. Diese Beobachtungen ergaben die Erddichte gleich 5,77. In neuerer Zeit sind aber von Richarz durch direkte

Wägungen mit Präzisionswagen, die in verschiedenen Höhen, d. h. verschiedenen Entfernungen vom Erdmittelpunkt aufgestellt wurden, solche Dichtebestimmungen angestellt worden. Ferner hat Wilsing in Potsdam eine durchaus neue Methode dazu angewandt, wobei das geodätische Präzisionspendel wiederum eine neue Aufgabe erfüllte. Man beobachtete den Einfluß, den eine in der Nähe befindliche Masse auf die Anzahl seiner Schwingungen in der Zeiteinheit ausübte, so daß man die besondere Schwerkraft, die von dieser Masse ausstrahlte, von den Wirkungen der Erdschwere trennen konnte. Wilsings sehr genaue Untersuchungen ergaben die Erddichte gleich 5,594 mit einer Unsicherheit von 0,8 Prozent.

Wiederum auf einem anderen Wege suchte v. Sterneck in Wien dieser Frage beizukommen, indem er Pendelbeobachtungen in einem Bergwerke vornahm. Hier konnte das umgekehrte Experiment wie auf den Bergen gemacht werden. Die Theorie zeigt, daß beim Eindringen in den Erdkörper immer nur diejenige Masse des letzteren eine Anziehungskraft ausübt, die unter derselben Niveaufläche liegt wie die betreffende Beobachtungsstelle. Nehmen wir der Einfachheit wegen eine Kugel an, so wirkt, wenn wir etwa um 1000 m in diese hinabsteigen, hier deren Anziehungskraft nur noch so, als ob die ganze Kugelschale von hier bis zur Oberfläche ringsherum von der Erde weggenommen wäre. Dies läßt sich finden, indem man die sämtlichen, von dieser Kugelschale auf den Beobachtungsort wirkenden Anziehungskräfte summiert (integriert). Die über dem Beobachter liegenden, der Schwere direkt entgegengesetzt wirkenden Massen sind zwar viel kleiner als die jenseits in der Kugelschale liegenden, aber dafür um so viel näher. Das Gesetz der quadratischen Zunahme der Schwerkraft bei abnehmender Entfernung vom Mittelpunkte des anziehenden Körpers bleibt dabei allerdings bestehen, während nur die wirkende Masse selbst abnimmt. Im Erdmittelpunkte selbst würde alle Masse der Erde über uns liegen, weshalb dort die Schwerkraft gleich Null sein muß; das sehen wir auch unmittelbar ein, weil nach allen Seiten hin gleichviel Masse auf uns wirkt. Bei der Annäherung an diesen Erdmittelpunkt wirken also zwei Faktoren in entgegengesetzter Richtung auf die Schwerkraft: sie nimmt ab, weil die in Betracht kommende Masse sich verkleinert, dagegen zu, weil wir uns dem Erdmittelpunkte nähern; außerdem verändert sich auch die Gegenwirkung der Zentrifugalkraft wegen des kleineren zu durchlaufenden Kreises. Durch das Zusammenspiel dieser Einflüsse wiegt, wie Helmert berechnet hat, bis zu einer Tiefe von 0,18 Teilen des Erdradius der Einfluß der Annäherung zum Erdmittelpunkte vor, so daß die Schwerkraft bis zu 1,05 ihres Wertes an der Oberfläche wächst und dann erst bis zum Mittelpunkte regelmäßig abnimmt.

Macht man nun in verschiedenen Tiefen eines Bergwerksschachtes Pendelbeobachtungen, so muß die entsprechende Zunahme der Schwere sich ergeben. Diese Zunahme ist aber im besonderen noch von der mittleren Dichte der Schichten abhängig, in die man nach und nach bei diesem Experiment eindringt, und die nach unseren vorangeschickten Erwägungen sich von der Schwerewirkung allmählich ausschließen. Man findet also dadurch das Verhältnis des Einflusses der oberen Schichten der Erdkruste zu dem des darunterliegenden Erdkernes auf die Schwingungen des Pendels. Die Dichtigkeit dieser oberen Schichten ist uns aber bekannt; wir können daher von ihr auf die Dichte des Kernes durch diese Versuchsordnung schließen. v. Sterneck stellte solche Beobachtungen in dem 1000 m tiefen Adalbertschachte des Přibramer Silberbergwerkes an, und zwar in drei verschiedenen Tiefen, und fand daraus die mittlere Erddichte zu 5,776.

In neuerer Zeit haben Richarz und Krigar Menzel durch eine große Reihe von Präzisionswägungen nach einer seinerzeit von Helmholtz angegebenen Methode die Anziehungskraft eines Bleigewichts von 100,000 kg mit der der Erde verglichen, wobei sich deren Dichtigkeit zu 5,505 ergab, eine Zahl, die von allen vorhin gegebenen wohl das größere Vertrauen verdient und vermutlich bis auf 1 Prozent ihres Wertes der Wahrheit nahekommt. Danach wiegt die Erde 5690 Trillionen Tonnen.

Aus den verschiedenen angeführten Resultaten darf man den wahren Wert dieser Verhältniszahl wohl zwischen 5,5 und 5,8 annehmen. Da aber die Gesteinschichten der Erdrinde, soweit sie unserer direkten Forschung zugänglich ist, eine viel geringere Dichtigkeit haben, die in der Nähe von 3 liegt, ja noch weit geringer ist, wenn man den Wassermantel der Erde mit berücksichtigt, so muß der *Erdkern aus viel dichteren Stoffen bestehen als die Erdoberfläche*. Man gelangt zu Zahlen, die zwischen 7 und 8 liegen, also etwa zur Dichtigkeit des Eisens, desselben Metalles, dem wir bei spektroskopischer Durchforschung der Himmelsräume allüberall begegneten. Es kann deshalb kaum zweifelhaft sein, daß auch der von uns bewohnte Himmelskörper zum wesentlichsten Teil aus diesem Stoff aufgebaut ist. In der Tat begegnen wir um so mehr eisenhaltigen Mineralien und im allgemeinen Metalle führenden Schichten, je tiefer wir uns zum Erdkern hinabwühlen. Übrigens muß allein durch den Druck der überlagernden Gesteinsmassen die Dichtigkeit im Inneren der Erde zunehmen, auch wenn sie durchgehends aus gleichen Stoffen bestände. Laplace, Helmert und andere berechneten die aus dieser Forderung folgende Dichtigkeit des Erdzentrums, und letzterer fand dafür den Wert 11,3.

Im Laufe der Untersuchungen über Größe und Gestalt unseres irdischen Wohnsitzes tauchten immer mehr und mehr Züge in seinem Bilde auf, die seine innige Verwandtschaft mit den planetarischen Himmelskörpern verraten, die wir diesseits und jenseits unseres Beobachtungsstandpunktes im Universum die Sonne umschwärmen sahen. Um nun auch die Erde ihnen einreihen zu können, müssen wir ihre Bewegungen in bezug zur Sonne näher ins Auge fassen.

---

3. Die scheinbaren Bewegungen der Sonne und die Zeitsysteme. Präzession und Nutation. Ortsbestimmungen zur See.

Verfolgt man die *scheinbaren Bewegungen der Sonne* mit dem Meridiankreis in derselben Weise, wie wir es im vorigen Kapitel mit den Fixsternen getan haben, so erkennen wir bald, daß das Tagesgestirn keinen festen Standpunkt in bezug auf das Sternengewölbe einnimmt, was auch schon seit alten Zeiten durch die oberflächlichsten Beobachtungen der Schattenlängen am Gnomon auffällig geworden war. Während die Fixsterne ihre äquatoriale Länge und Breite nicht verändern, zeigen sich diese Koordinaten bei jedem Meridiandurchgange der Sonne in systematischer Weise verändert; dies tritt namentlich schon durch die Veränderlichkeit der Sonnenhöhen in den verschiedenen Jahreszeiten auf das deutlichste hervor, während wir wissen, daß die Fixsterne jahraus jahrein in gleicher Höhe kulminieren, die nur von ihrem Äquatorabstand und der geographischen Breite des Ortes abhängig ist.

Die Meridianbeobachtungen der Sonne müssen natürlich immer auf ihren Mittelpunkt bezogen werden, dessen Bewegung jedoch nicht unmittelbar verfolgt werden kann; die Reduktion auf ihn geschieht dadurch, daß man das Mittel aus den Beobachtungen der Ränder nimmt, wodurch man also gleichzeitig den scheinbaren Durchmesser der Sonne bestimmt. Es zeigt sich nun, daß der Mittelpunkt der Sonne jeden Tag später kulminiert als solche Fixsterne, die tags zuvor mit ihm gleichzeitig den Meridian passierten, und zwar durchschnittlich um 3 Minuten 56,555 Sekunden. So viel nimmt also die äquatoriale Länge (Rektaszension) der Sonne im Durchschnitt täglich zu. Aber die Bewegung der Sonne in dieser Richtung ist nicht ganz gleichmäßig, sie zeigt periodische Veränderungen, die sich regelmäßig im Laufe eines Jahres wiederholen.

Astronomisch definiert, ist das Sonnenjahr gleich der Anzahl von Sterntagen (d. h. von Umdrehungen der Erde um ihre Achse), die zwischen den zwei aufeinanderfolgenden Augenblicken verfließen, in denen die Äquatorlänge und -Breite der Sonne gleich Null ist und zugleich die Breite zunimmt; mit anderen Worten, es ist gleich der Zeit, die zwischen zwei Durchgängen der Sonne durch den Frühlingsnachtgleichenpunkt verfließt. Zum Unterschiede von anderen etwas verschiedenen Definitionen, auf die wir später zurückkommen, gilt diese für die Länge des *tropischen Jahres*. Die Beobachtungen haben sie gleich 366,242201 Sterntagen ergeben. Die Zeit, die zwischen einer und der folgenden Kulmination der Sonne verfließt, nennt man einen *wahren Sonnentag*; den Moment der Kulmination selbst den *wahren Mittag*.

Da, wie wir schon sahen, das Anwachsen der äquatorialen Sonnenlänge von Tag zu Tag kein ganz gleichmäßiges ist, so ist auch die Länge des wahren Sonnentages, in Sternzeit ausgedrückt, eine veränderliche. Durch Summierung dieser Abweichungen können Unterschiede bis zu 16 Minuten zwischen dem Augenblicke des wahren Mittags und dem Momente verfließen, in dem ein gleichmäßig fortlaufender Zeitmesser, der täglich um die durchschnittliche Bewegung der Sonne hinter einer Sternzeituhr zurückbleibt, 12 Uhr anzeigt. Eine solche Uhr geht nach sogenannter *mittlerer* oder *bürgerlicher Zeit*. Deren Definition ist, genauer präzisiert, die folgende: man denke sich eine Sonne, die in ihrer Bahn am Himmel, der Ekliptik, ganz gleichmäßig schnell fortschreitet, und eine zweite, die ebenso gleichmäßig auf dem Himmelsäquator umläuft, so daß diese beiden Sonnen im Frühlingsnachtgleichenpunkte genau zusammentreffen. Dann ist ein mittlerer Sonnentag gleich der Zeit, die zwischen einer und der nächsten Kulmination der letztgedachten mittleren Sonne verfließt. Es folgt hieraus die Relation zwischen Sterntag und mittlerem Sonnentag: ein Sterntag = $\frac{365,242\,201}{366,242\,201}$ Tag = 23 Stunden 56 Minuten 4,091 Sekunden mittlere Zeit, und ein mittlerer Tag = $\frac{366,242\,201}{365,242\,201}$ Tag = 24 Stunden 3 Minuten 56,555 Sekunden Sternzeit. Diese Beziehung zwischen den beiden Zeitsystemen ist demnach eine ganz einfache, und man wird immer eine nach mittlerer Zeit gehende Uhr durch die mit dem Meridiankreis aus den Sterndurchgängen gefolgerte Zeitbestimmung, die direkt Sternzeit gibt, kontrollieren können, ohne deswegen Beobachtungen an der Sonne machen zu müssen.

Etwas komplizierter stellt sich dagegen die Umrechnung der mittleren Zeit in wahre Sonnenzeit; sie geschieht mit Hilfe der sogenannten *Zeitgleichung*, d. h. dem Unterschiede zwischen diesen beiden Zeitsystemen um Mittag des betreffenden Tages. Wir geben hierunter eine Tabelle der Zeitgleichung.

Tafel der Zeitgleichung und der Sonnenorte für das Jahr 1900.

Wahrer Greenwicher Mittag				Wahrer Greenwicher Mittag			
Monatstag	Zeitgleichung M.Z.-W.Z.	A. R. der Sonne	Deklination der Sonne	Monatstag	Zeitgleichung M.Z.-W.Z.	A. R. der Sonne	Deklination der Sonne
1. Jan.	$+3^{m}$ 40,2^{s}	18^{h} 46^{m} 24,3^{s}	$-23°$ 1′ 22″	5. Juli	$+4^{m}$ 15,7^{s}	6^{h} 56^{m} 22,6^{s}	$+22°$ 49′ 6″
6. "	5 58,2	19 8 25,5	22 31 11	10. "	5 3,3	7 16 53,1	22 16 29
11. "	8 4,0	19 30 14,4	21 49 54	15. "	5 40,2	7 37 12,9	21 34 18
16. "	9 54,8	19 51 48,3	20 58 2	20. "	6 5,1	7 57 20,6	20 42 55
21. "	11 28,3	20 13 4,8	19 56 10	25. "	6 16,6	8 17 15,0	19 42 46
26. "	12 43,2	20 34 2,7	18 44 59	30. "	6 13,6	8 36 54,7	18 34 27
31. "	13 38,3	20 54 40,8	17 25 16	4. Aug.	5 55,2	8 56 19,1	17 18 31
5. Febr.	14 13,0	21 14 58,3	15 57 51	9. "	5 21,5	9 15 28,0	15 55 36
10. "	14 26,9	21 34 55,0	14 23 38	14. "	4 33,1	9 34 22,3	14 26 18
15. "	14 21,0	21 54 31,9	12 43 28	19. "	3 31,6	9 53 3,4	12 51 13
20. "	13 57,1	22 13 50,7	10 58 11	24. "	2 18,3	10 11 32,7	11 11 0
25. "	13 17,0	22 32 53,3	9 8 35	29. "	+0 54,5	10 29 51,4	9 26 22
2. März	12 22,8	22 51 41,6	7 15 34	3. Sept.	−0 38,3	10 48 1,1	7 38 0
7. "	11 16,1	23 10 17,5	5 20 0	8. "	2 18,2	11 6 3,8	5 46 34
12. "	9 59,0	23 28 43,0	3 22 42	13. "	4 2,5	11 24 1,9	3 52 44
17. "	8 34,3	23 47 0,8	−1 24 27	18. "	5 48,1	11 41 58,5	1 57 7
22. "	7 4,6	0 5 13,7	+0 34 1	23. "	7 33,4	11 59 55,9	+0 0 26
27. "	5 33,0	0 23 24,6	2 31 59	28. "	9 15,4	12 17 56,4	−1 56 34
1. April	4 1,9	0 41 36,0	4 28 41	3. Okt.	10 52,1	12 36 2,2	3 53 10
6. "	2 33,3	0 59 49,9	6 23 20	8. "	12 21,1	12 54 15,8	5 48 36
11. "	+1 9,2	1 18 8,3	8 15 12	13. "	13 39,5	13 12 39,9	7 42 9
16. "	−0 8,1	1 36 33,6	10 3 37	18. "	14 44,5	13 31 17,5	9 33 6
21. "	1 16,2	1 55 8,1	11 47 55	23. "	15 33,9	13 50 10,7	11 20 36
26. "	2 22,9	2 17 40,6	13 46 39	28. "	16 6,2	14 9 21,1	13 3 50
1. Mai	2 57,2	2 32 52,4	15 1 23	2. Nov.	16 19,9	14 28 50,1	14 41 56
6. "	3 28,2	2 52 4,0	16 29 9	7. "	16 14,0	14 48 38,8	16 14 3
11. "	3 45,6	3 11 29,3	17 50 4	12. "	15 47,2	15 8 48,5	17 39 23
16. "	3 49,0	3 31 8,7	19 3 32	17. "	14 58,7	15 29 19,9	18 57 6
21. "	3 38,0	3 51 2,5	20 8 58	22. "	13 48,9	15 50 12,6	20 6 22
26. "	3 13,2	4 11 10,2	21 5 49	27. "	12 19,4	16 11 25,1	21 6 25
31. "	2 35,9	4 31 30,4	21 53 36	2. Dez.	10 32,3	16 32 55,3	21 56 32
5. Juni	1 48,4	4 52 0,8	22 31 52	7. "	8 30,0	16 54 40,7	22 36 6
10. "	−0 53,1	5 12 39,1	23 0 17	12. "	6 15,1	17 16 38,8	23 4 36
15. "	+0 7,9	5 33 23,0	23 18 37	17. "	3 50,9	17 38 46,2	23 21 40
20. "	1 12,2	5 54 10,2	23 26 41	22. "	−1 21,5	18 0 58,8	23 27 2
25. "	2 17,1	6 14 58,1	23 24 24	27. "	+1 8,4	18 23 11,9	23 20 36
30. "	3 19,3	6 35 43,3	23 11 49	1. Jan. (1901)	3 34,1	18 45 20,8	23 2 29

Diese einzelnen Werte der Zeitgleichung mußten ursprünglich durch jedesmalige Beobachtung gefunden werden, während sie dann erst das Resultat theoretischer Berechnungen werden konnten, welche die Kenntnis des wahren Laufes der Sonne voraussetzen. Wir sehen, daß die Zeitgleichung sich als eine verwickelte Funktion herausstellt; viermal im Jahre ist sie Null, d. h. der wahre Mittag fällt mit dem mittleren Mittag zusammen: am 14. April, am 14. Juni, am 31. August und am 23. Dezember. Vom letzteren Datum an nimmt die Zeitgleichung beständig zu, d. h. der mittlere Mittag fällt in einen späteren Moment als der wahre; der Unterschied hat am 11. Februar sein Maximum mit ungefähr $14^{1}/_{2}$ Minuten erreicht. Nun rückt der mittlere Mittag gegen den wahren zurück, bis er am 14. Mai etwa 4 Minuten früher fällt als jener. Jetzt beginnt wieder ein Anwachsen der Zeitgleichung

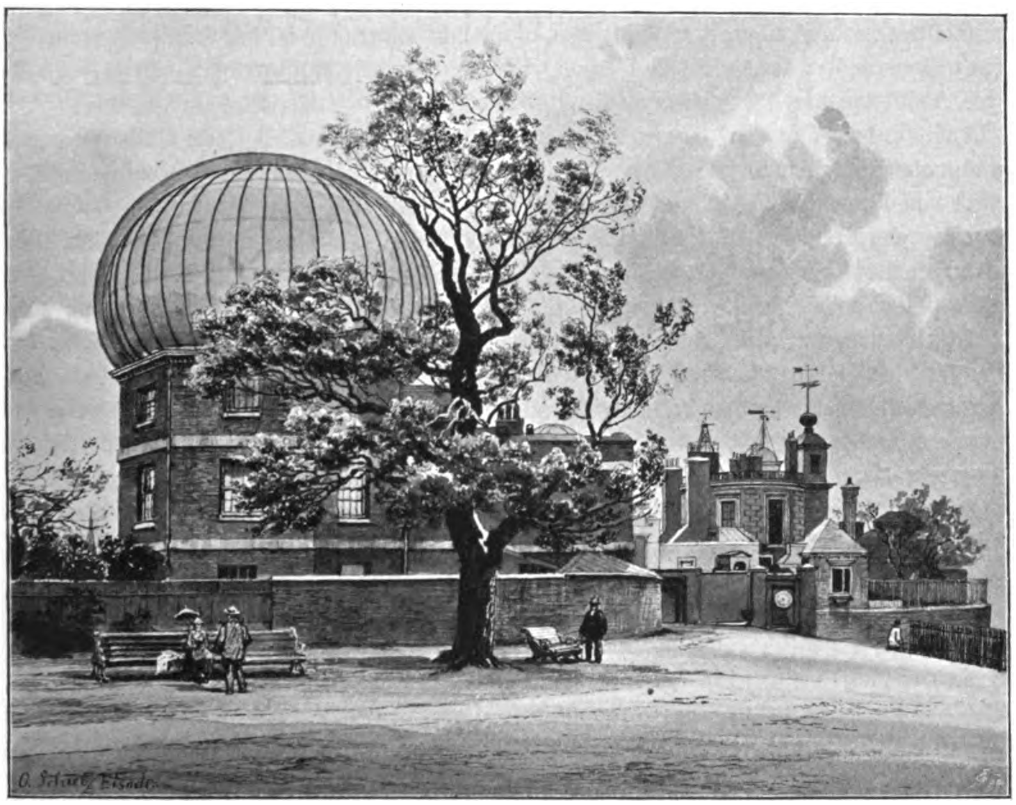
bis zum 26. Juli auf 6¼ Minuten, und endlich nimmt sie wieder bis zum 2. November ab, an welchem Tage der mittlere Mittag 16¼ Minuten vor dem wahren eintritt.

Der Moment des mittleren Mittags ebenso wie der des wahren ist selbstverständlich für jeden Meridian der Erdoberfläche verschieden, ebenso wie der Meridiandurchgang jedes Sternes. Die Unterschiede der letzteren Momente haben wir als geographische Längenunterschiede kennen gelernt, und eine leichte Überlegung zeigt weiter, daß auch der Zeitunterschied zwischen den mittleren Mittagen zweier Orte gleich diesem selben Längenunterschied ist, wenn man nur den ersteren Unterschied in Sternzeit, den anderen in mittlerer Zeit angibt. Die Definition des geographischen Längenunterschiedes verlangt zwar die Angabe des Zeitunterschiedes zwischen dem Durchgange des Meridians des ersten Ortes und dem des zweiten Ortes durch einen festen Meridian der Himmelskugel, angegeben in Sternzeit, d. h. in Teilen der Umdrehung der Erde. Macht man aber die Längenbestimmung mit Hilfe der Sonne, indem man die Unterschiede der Mittage beobachtet, so hat sich wohl die Sonne zwischen den beiden Momenten der Kulmination an dem einen und dem anderen Orte um ein Weniges zurückbewegt, so daß ihr Durchgang an dem zweiten Ort etwas später erfolgt, als man bei Benutzung eines Fixsternes gefunden hätte; nach der Relation aber, die wir zwischen den beiden Systemen der mittleren und der Sternzeit eingesetzt haben, muß diese Differenz in jedem Falle gleich dem Unterschiede der beiden Zeiten werden, d. h. der Längenunterschied zwischen zwei Orten ist genau gleich dem Zeitintervall zwischen der Kulmination der mittleren Sonne an beiden Orten, in mittlerer Zeit ausgedrückt, oder gleich dem Mittagsunterschiede. Da die mittlere Zeit also für jeden Ort und zwar um den Betrag des Längenunterschiedes verschieden ist, so nennt man sie auch die Ortszeit.

Die Angaben einer nach Ortszeit gehenden Uhr sind indes nur im Mittel des Jahresdurchschnittes in Übereinstimmung mit der Stellung der Sonne zum Horizonte dieses Ortes; aber man hatte durch die Einführung der Ortszeit eine Gleichförmigkeit der Zeitangaben für ein und denselben Ort erreicht. Es war nun nicht mehr nötig, die mechanischen Zeitmesser jeden Tag von neuem nach dem Stande der Sonne richtig zu stellen. Die geringen, bis zu einer Viertelstunde gehenden Abweichungen dieses Zeitsystems von dem natürlichen wurden von dem menschlichen Organismus nicht empfunden, denn es kommt ihm nicht darauf an, ob die beiden Zeitabschnitte des Vor- und Nachmittags, in die wir unsere Tätigkeit einteilen, nach den Angaben unserer maßgebenden Uhr bis zu einer halben Stunde verschieden groß werden konnten, weil ja nur der wahre Mittag die Zeit zwischen Auf- und Untergang der Sonne in zwei genau gleiche Hälften teilt. In den langen Sommertagen wurde dieser Unterschied wohl selbst dem aufmerksamsten Beobachter nicht merklich, und nur in den ersten Wochen des November, in denen die Zeitgleichung ihr Maximum erreicht, mag es auffallen, daß die Vormittage merklich kürzer werden als die Nachmittage. Das Umgekehrte tritt gegen Mitte Februar ein; zwischen November und Februar wachsen nach mittlerer Zeit hauptsächlich nur die Vormittage, während dann die Zunahme der Nachmittagslänge sehr auffällig wird.

Mit dem gewaltig wachsenden Verkehr machte es sich aber bald sehr störend geltend, daß man seine so gut regulierte Uhr bei jedem Ortswechsel anders stellen mußte; daß man also beim Verkehr mit verschiedenen Orten immer ihre Längenunterschiede zu berücksichtigen hatte, wenn es sich um die Angabe eines bestimmten physischen Momentes handelte. Während

es bei früheren Verkehrsverhältnissen auf eine Unsicherheit der Zeitangaben von erheblichen Bruchteilen einer Stunde nicht ankam und anderseits Meridianunterschiede von einer Stunde erst durch mehrtägige Reisen erreicht werden konnten, kommt es heute nach Erfindung der Eisenbahnen und Telegraphen auf Minuten und selbst Bruchteile derselben an, innerhalb deren man das Eintreffen eines Ereignisses vorher zu bestimmen in der Lage sein muß. Verwechselungen oder fehlerhafte Anwendung der Ortsunterschiede z. B. im Eisenbahndienste können die verhängnisvollsten Folgen haben. Man hatte deshalb für



Die Sternwarte zu Greenwich. Nach Photographie. Vgl. Text, S. 496.

Verkehrszwecke zu dem Auswege gegriffen, die Ortszeit der Hauptstadt des betreffenden Landes als Einheitszeit, Nationalzeit, wenigstens für den inneren Dienst einzuführen. Man brauchte also nun auf Reisen nur noch bei Überschreitung der Landesgrenzen die Uhr jedesmal anders zu stellen. Aber die gemeinsamen Interessen der Menschheit reichen längst über alle Landesgrenzen hinaus: man strebte eine völlige Vereinheitlichung der Zeitangaben über die ganze Erde hin, eine Weltzeit, an.

Die Frage der Weltzeit wurde zuerst auf der internationalen Geodätenkonferenz zu Rom im Jahre 1883 offiziell erörtert. Obgleich man sich nicht ganz einigte, war man doch im Prinzip der Einführung einer einheitlichen Zeit geneigt. Namentlich für die Vereinigten Staaten von Nordamerika, deren im regsten Verkehr miteinander stehende Ost- und Westländer bis zu fünf Stunden Ortszeitunterschied aufweisen, war diese Frage immer

brennender geworden. Die Regierung der Vereinigten Staaten berief deshalb für den Herbst 1884 eine internationale diplomatische Konferenz nach Washington, die über die Wahl des Anfangsmeridians der Zeitzählung entscheiden sollte. Von vornherein war es natürlich ganz gleichgültig, welchen Meridian man wählen würde. Da jedoch die vier wichtigsten astronomischen Jahrbücher für die Meridiane von Greenwich, Paris, Berlin und Washington seit einer langen Reihe von Jahren berechnet werden, so konnten auch nur diese vier Meridiane ernstlich in Betracht kommen, und von diesen hatte wiederum der Meridian von Greenwich den sehr großen Vorzug, daß sich alle seefahrenden Nationen, mit alleiniger Ausnahme der Franzosen, nach ihm richten, d. h. ihre Schiffschronometer nach Greenwicher Ortszeit gehen lassen, und daß für den Nullmeridian von Greenwich (die Abbildung der Sternwarte s. S. 495) alle Seekarten eingerichtet sind.

Es kam aber in Washington leider zu keiner Einigung, weil bei den Verhandlungen nationale Eitelkeiten zu sehr in den Vordergrund traten; namentlich wollten die Franzosen nicht von ihrem Pariser Meridian lassen. Die Frage wurde auch bei weiteren Verhandlungen dadurch, wie es scheint, unnötigerweise verwickelt, daß man erörterte, ob man nicht auch sofort die astronomische Zählweise der Zeit nach 24 Stunden, vom Mittag, nicht von Mitternacht angefangen, einführen wolle. Das Resultat der Diskussion war, daß eine Nation nach der anderen die sogenannte Zonenzeit einführte. Diese kann man als ein Zwischenstadium für den Übergang von der Ortszeit in die Weltzeit betrachten, da statt der unendlich vielen vordem vorhandenen Zeiten deren nur noch 24 verschiedene beibehalten wurden, die sich in gleich großen Zonen rings um die Erde verteilten; von diesen 24 Zeiten ist jede von der anderen nur um eine Anzahl von ganzen Stunden verschieden; Minuten und Sekunden stimmen für alle Zonenzeiten genau überein, indem sie sich nach dem Meridian von Greenwich richten. Die ganzen Stunden dieser Zonenzeiten werden so gewählt, daß sie für das betreffende Land möglichst geringe Unterschiede mit seinen verschiedenen Ortszeiten übriglassen. In Deutschland ist diese Zonenzeit unter dem Namen Mitteleuropäische Zeit (M.E.Z.) durch einen Reichstagsbeschluß vom 22. Februar 1893 seit dem 1. April desselben Jahres allgemein im bürgerlichen Leben eingeführt. Sie ist der Greenwicher Ortszeit um genau eine Stunde voraus. Dieselbe Zeit ist außerdem in Schweden und Norwegen, in Österreich-Ungarn und in Italien maßgebend. Fast alle zivilisierten Länder sind inzwischen diesem Zeitsystem beigetreten. In der Tat ist durch die Zonenzeiten dem dringenden Bedürfnisse der Vereinigung Genüge geschehen, denn da Minuten und Sekunden aller Uhren der Welt in Übereinstimmung sein sollen, so wird das große Konzert des Weltgeschehens nach dem gleichmäßigen Takt geregelt, den die Pendelschläge der Normaluhr auf der Sternwarte zu Greenwich angeben. Daß die zugehörigen Stunden in den verschiedenen Ländern verschiedene Zahlenbenennungen haben, ist für den angestrebten Zweck vorerst ziemlich gleichgültig, und eine Verwechselung von ganzen Stunden, die bei diesem System heute noch möglich ist, kann jedenfalls im internationalen Dienste weniger Verwirrungen anrichten als Minutenfehler, weil grobe Irrtümer sich sozusagen selbst verraten.

Der Meridian, der eine Stunde östlich von Greenwich liegt, geht mitten durch Deutschland, fast genau durch Stargard, so daß diese Stadt am 1. April 1893 ihre Zeit nicht zu ändern brauchte. In Berlin mußten dagegen alle Uhren 6 Minuten 25 Sekunden vorgestellt werden, um fortan M. E. Z. zu zeigen. In Aachen, an der Westgrenze unseres Vaterlandes, war der große Zeiger 32 Minuten 56 Sekunden vorzurücken, in Königsberg

21 Minuten 59 Sekunden zurückzustellen. Durch diese weitere Verrückung der Zeitangaben gegen die wahre Zeit wird die Ungleichheit der Vormittage und Nachmittage noch wesentlich gesteigert. Am 11. Februar beispielsweise, wenn die Zeitgleichung ihren größten positiven Wert hat, findet der höchste Stand der Sonne in Aachen statt, wenn die Uhren dort 12 Stunden 48 Minuten zeigen; der Vormittag wird dadurch also 48 Minuten kürzer, als er naturgemäß sein sollte, der Nachmittag um ebensoviel zu lang. Das Umgekehrte findet im November in Königsberg statt; im wahren Mittag zeigt die Uhr dann 11 Stunden 22 Minuten. Zwischen Sonnenaufgang und dem Mittag der M. E. Z. vergehen etwa $5\frac{1}{2}$ Stunden, während von da bis zum Sonnenuntergang nur $4\frac{1}{4}$ Stunden liegen.

Wir haben uns damit einen weiteren Schritt von der natürlichen, durch die Bewegungen der Sonne direkt gegebenen Zeiteinteilung entfernt, die zuerst damit begann, den Tag von Sonnenaufgang bis Sonnenuntergang in zwölf Stunden zu teilen, so daß die sechste Stunde immer den Mittag bedeutete. Man hatte damals offenbar die Verschiedenheit der Tageslängen in den verschiedenen Jahreszeiten zuerst gar nicht bemerkt, was in den Erdstrichen, in denen die ersten Kulturvölker lebten, wohl möglich war, da dort die Unterschiede nicht so wesentlich sind wie in unseren höheren Breiten. In Alexandrien ist z. B. der kürzeste Tag etwa 10, der längste 14 Stunden lang. In dem einen Falle hatte also die antike Stunde 50, im anderen 70 unserer Minuten. Hatte man auch diese Ungleichheit inzwischen herausgefunden, was namentlich durch die S o n n e n u h r e n kund werden mußte, deren Schattenzeiger verschieden große Wege in den verschiedenen Jahreszeiten zurücklegten, so traten doch keine Übelstände dadurch im bürgerlichen Leben ein, da man gemeinsame Handlungen durch Schallsignale, Glocken, Trommeln, Trompeten einleitete. Im Gottesdienst, im Heerwesen sind diese Gebräuche heute noch beibehalten. Die Angaben der Sonnenuhr blieben noch maßgebend, als man in einzelnen Ländern begann, die Zeit von einem zum anderen Mittag in zweimal 12 Stunden einzuteilen, also nicht mehr den Tag von Sonnenaufgang an rechnete. Dadurch war die Ungleichheit der Stunden nur noch von der im bürgerlichen Leben ganz unbemerkt bleibenden Zeitgleichung abhängig. Man ging aber bald einen Schritt weiter und benutzte die Kirchenglocken zur Ankündigung des Beginnes jeder neuen Stunde, entsprechend der noch heute im Orient üblichen Art des Ausrufens der Stunden von den Türmen. Zuerst war es dem Gutdünken des Küsters anheimgestellt, nach Beobachtung seiner Sonnenuhr den Beginn der neuen Stunde durch Ziehen an dem Glockenstrang der Stadt zu verkünden; dann zu Beginn des 12. Jahrhunderts wurden die ersten mechanischen Schlagwerke konstruiert, die anfangs nur den Zweck haben sollten, dem Küster sein Amt zu erleichtern, und jedenfalls weit davon entfernt waren, als Zeitmeßinstrumente rohester Art dienen zu können. Sie wurden, so oft es anging, nach den Angaben der Sonnenuhr richtiggestellt.

Erst als diese U h r w e r k e immer mehr vervollkommnet und namentlich kleinere Uhren für die Zwecke der Schiffahrt, endlich selbst Taschenuhren konstruiert wurden, begannen die Ungleichheiten der wahren Sonnenzeit, nach der sich bis dahin das öffentliche Leben richtete, selbst für dieses störend hervorzutreten. Die Uhren gingen notorisch gleichmäßiger als die Sonne, und es waren deshalb die Uhrmacher, die sich zur Wahrung des guten Rufes ihrer Kunstwerke zuerst lebhaft um die Einführung einer gleichmäßig fortschreitenden Zeiteinteilung bemühten. Das schon damals für die Fabrikation guter Uhren berühmte Genf führte die mittlere Zeit zuerst ein, und zwar im Jahre 1798. In Paris wurde sie erst 1816 angenommen.

Mittlerweile wurde das öffentliche Zeitwesen infolge der wachsenden Ansprüche des immer innigeren Ineinandergreifens der gemeinsamen Kulturarbeit der Menschheit mehr und mehr vervollkommnet. Die anfangs nur ganze Stunden schlagenden Turmuhren bekamen, entsprechend dem wachsenden Werte der Zeit, Viertelstundenschlagwerke. Man vervielfältigte die öffentlichen Uhren und unterwarf sie einer regelmäßigen Kontrolle seitens der Sternwarten; die wohl noch an jedem Kirchturm angebrachten Sonnenuhren waren nunmehr von allgemeinen Reglern des menschlichen Lebens zu bloßen Reliquien aus guter alter Zeit herabgesunken. Den Wert, den früher kaum die Stunden besaßen, gewannen im immer hastiger werdenden Treiben der Menschheit die Minuten, und es kam deshalb zur rechten Zeit mit der Erfindung der Eisenbahnen die des Telegraphen, mit dem es möglich wurde, eine größere Anzahl von Uhren auf gleichen Zeitangaben zu erhalten. Es wurden elektrische Zifferblätter erfunden, die, von einer Zentrale unterhalten, die Angaben der besten astronomischen Uhr bis auf Bruchteile der Sekunde über eine ganze Stadt zu verbreiten vermögen. Ein solches allerfeinstes Zeitübertragungssystem besitzt allen anderen Städten voraus wiederum Genf, dem nicht zum mindesten die Vollkommenheit der dort fabrizierten Uhren zu danken ist.

Für den Verkehr großer Weltstädte ist eine so große Genauigkeit weder nötig, noch wegen der ungemeinen Zartheit der notwendigen Einrichtungen ratsam. Man begnügt sich deshalb dort gewöhnlich mit einer Unsicherheit von einer halben Minute. In Paris hat man ein pneumatisches Prinzip angewendet, um den Gang der öffentlichen Uhren gemeinsam zu regulieren, wobei durch Luftverdünnung in einem System von Röhren ein Kontakt ausgelöst wird, der die Uhr in bestimmten Stundenintervallen richtigstellt. Ganz vorzüglich hat sich das System der Uraniasäulenuhren in Berlin bewährt, für die in scharfsinniger Weise sowohl die Elektrizität als auch die Wirkungen des Luftdruckes in Anwendung gebracht werden.

Mit der heute erreichten Präzision der Uhren haben wir uns zwar den Bewegungen der Sonne in ihren Mittelwerten enger als je angeschlossen, aber wir haben uns von ihren unmittelbaren, für jede Jahreszeit, für jeden Tag und für jeden Ort der Erde wechselnden Angaben, die noch dazu bei den Wetterlaunen unserer Zone nur in ganz unregelmäßigen Zwischenräumen direkt zu erhalten sind, inzwischen völlig emanzipiert, und der Gang der Entwickelung des Zeitwesens läßt kaum einen Zweifel darüber, daß in nicht sehr ferner Zeit auch die vierundzwanzig Zonenzeiten, denen die unendlich vielen Ortszeiten jetzt Platz machen mußten, ihrerseits der einheitlichen Weltzeit weichen werden.

Außer der bisher ins Auge gefaßten Bewegung der Sonne in Länge, beziehungsweise Rektaszension, die den verschiedenen Zeitsystemen zugrunde liegt, besitzt die Sonne aber auch noch eine Bewegung in äquatorialer Breite, Deklination, durch welche die Jahreszeiten und die Einteilung der Zonen entstehen. Nur zweimal im Jahre, zum Frühlings- und Herbstanfang, befindet sich die Sonne genau im Himmelsäquator. Da dieser, wie wir wissen, durch den Horizont jedes Beobachtungsortes, mit alleiniger Ausnahme der beiden Erdpole, in zwei gleiche Hälften geteilt wird, so muß auch die Sonne, wenn sie sich im Äquator befindet, für jeden Ort auf der Erde gleich lange über und unter dem Horizonte weilen; ihr Tag- sowohl als ihr Nachtbogen umfaßt 12 Stunden: es ist dann Tag- und Nachtgleiche auf der ganzen Erde zugleich. Nachdem die Sonne den Frühlingsnachtgleichenpunkt durchschritten hat, erhebt sie sich mehr und mehr über den Äquator; ihre Deklination

nimmt erst rasch, dann immer langsamer zu, bis ihre Abweichung vom Äquator nach einem Vierteljahr etwa $23^1/_2$ Grad erreicht hat. In dieser maximalen Höhe, auf die wir den Sommeranfang unseres Kalenders verlegen, bleibt die Sonne für die oberflächliche Beobachtung eine Weile stehen; man sagt deshalb, daß das Sommersolstitium eingetreten ist. Die Deklination der Sonne nimmt nun in derselben Weise wieder ab, wie sie vorher zunahm, das Tagesgestirn durcheilt den Herbstnachtgleichenpunkt, geht auf die Südhemisphäre des Himmels über und erreicht schließlich am Winteranfang sein Wintersolstitium oder die Wintersonnenwende; diese tritt bei genau derselben südlichen Deklination ein, welche die Sonne zu Sommersanfang im Norden hatte. Zeichnet man die wahren Orte der Sonne während ihres Jahreslaufes auf einen Himmelsglobus, so ergibt sich, daß sie einen genauen größten Kreis, dessen Mittelpunkt also mit dem Mittelpunkt des Globus zusammenfällt, beschreibt, und daß dieser größte Kreis, die Ekliptik genannt, um etwa 23½ Grad gegen den Himmelsäquator geneigt ist. Auf unserer Karte der äquatorialen Zone des Himmels (bei S. 314) haben wir diese Bahn der Sonne unter den Sternen eingetragen. Diese Bewegung der Sonne tritt jedes Jahr wieder in der gleichen Weise ein und wird auch so an allen Orten der Erde übereinstimmend beobachtet.

Dennoch entstehen durch diese Deklinationsbewegung der Sonne für verschiedene Orte der Erdoberfläche wesentlich verschiedene Erscheinungen, mit denen wir uns eingehender beschäftigen müssen. Wenden wir uns zunächst dem Äquator zu. Wir wissen bereits, daß hier alle Sterne vermöge ihrer täglichen Bewegung gleiche Tag- und Nachtbogen beschreiben. Welche Stellung die Sonne während ihrer jährlichen Bewegung um den Himmel auch zwischen Himmelsäquator und Pol einnehmen mag, ihr Tag- und Nachtbogen muß doch immer gleich groß sein, d. h. unter dem Äquator geht die Sonne jahraus, jahrein um 6 Uhr wahrer Ortszeit morgens auf und um 6 Uhr abends unter (vgl. unten). Die Veränderungen ihrer Deklination haben keinen Einfluß auf die stets gleichbleibende Tageslänge (s. die untere Zeichnung auf S. 451). Die Sonnenbestrahlung der Gegenden des Äquators wechselt also nicht in den verschiedenen Jahreszeiten, die wir in unseren Breiten unterscheiden, oder mit anderen Worten, es gibt unter dem Äquator keine Jahreszeiten. Die Arbeit, die dem Sonnenlicht im Gebiete des organischen Lebens zuerteilt ist, namentlich die Auslösung jenes geheimnisvollen chemischen Prozesses, den das Pflanzengrün nur im Licht auszuführen vermag, kann hier zu allen Zeiten in gleicher Weise geschehen: immergrüne, üppig wuchernde Wälder überziehen deshalb die Landstriche des tropischen Gebietes, soweit es nicht am notwendigen Wasser fehlt. Aber auch die meteorologischen Vorgänge, die durch die wechselnde Lage der Sonne reguliert werden, gestalten sich deshalb am Äquator ziemlich gleichförmig, und wenn dort eine letzte Spur unseres Jahreszeitenwechsels durch den Eintritt der Regenzeiten zu bemerken ist, so hat dies in der Hauptsache seinen Grund in dem Zusammentreffen von Luftströmungen dies- und jenseits des Äquators, die den Ausgleich zwischen beiden abwechselnd von der Sonnenbestrahlung bevorzugten Erdhalbkugeln über den Äquator hin bewirken. Ganz gleichmäßig bleibt übrigens die Sonnenbestrahlung auch hier nicht; nur wenn die Sonne selbst im Himmelsäquator steht, geht sie durch den Zenit eines Ortes am Erdäquator, d. h. zur Zeit der Frühlings- und Herbstnachtgleiche sind daselbst um Mittag alle Gegenstände schattenlos. Um diese Zeit findet dort also die stärkste Sonnenbestrahlung statt, die durch das südliche oder nördliche Abweichen der Sonne vom Äquator, durch das immer schräger werdende Auffallen ihrer Strahlen gemildert wird.

Zur Zeit der beiden Solstitien ist die Bestrahlung am Äquator am geringsten. Man könnte also sagen, daß die Äquatorbewohner im Lauf eines Jahres zwei Sommerszeiten, die mit unserem Frühling und Herbst zusammenfallen, und zwei gleichartige Frühlingszeiten haben, während deren bei uns Sommer, beziehungsweise Winter ist. Aber die durch diese Ortsveränderung der Sonne bewirkten Strahlungsunterschiede sind recht gering. Sie verhalten sich nach bekannten physikalischen Gesetzen wie die Kosinus der veränderten Auffallswinkel der Strahlen; in dem gegebenen Falle also zwischen Äquinoktium und Solstitium wie 1 : 0,917.

Abgesehen von den Wirkungen der atmosphärischen Refraktion, welche die Sonne bereits über den Horizont scheinbar erhebt, während sie, streng geometrisch, sich noch unter diesem befindet (wodurch also auch die Länge des Tages unter dem Äquator eine um etwa 5 Minuten größere wird als die Länge der Nacht), ist die Stundenzahl der Sonnenbestrahlung zwar stets ebenso groß wie die, während der die Sonne abwesend ist, aber wir haben für das bürgerliche Leben nun noch weiter die Dämmerung zu berücksichtigen, die einen Übergang zwischen Tag und Nacht zugunsten des ersteren erzeugt. Auch die Dämmerung ist eine Folge der Strahlenbrechung in unserer Atmosphäre. Man hat praktisch gefunden, daß die Sonne noch die über einem bestimmten Beobachtungsort befindlichen Luftpartikel diffus zu beleuchten vermag, wenn sie sich weniger als 18 Grad unter dem Horizont befindet. Unter dem Äquator wird dieses Gebiet von 0 Grad Höhe bis zu 18 Grad Tiefe unter dem Horizont am schnellsten von der Sonne durchlaufen, weil ihre Tageskreise in jeder ihrer Stellungen am Himmel stets senkrecht zum Horizonte bleiben. Von den 365 × 24 = 8760 Stunden des Jahres kommt also zunächst die Hälfte, gleich 4380 Stunden, auf den sonnenbestrahlten Tag, dann aber kommen noch 852 Stunden auf die Dämmerung, so daß nur 3528 Stunden auf die eigentliche Nacht entfallen. Bei dieser Rechnung ist auf die Verlängerung des Tages durch die Refraktion keine Rücksicht genommen; geschieht dies, so stellen sich die Verhältnisse genauer wie folgt:

	Sonnenlicht während eines Jahres	Refraktionslicht allein	Astronomische Dämmerung	Volle Nacht
Am Nordpol . .	186ᵈ 11ʰ	2ᵈ 22ʰ	94ᵈ 16	84ᵈ 3ʰ
In 40° Breite . .	183 8	1 14	49 2	132 20
Am Äquator . .	182 15	1 5	36 1	146 14

Bewegen wir uns vom Äquator weiter nach Norden oder nach Süden, so ändern sich die geschilderten Verhältnisse anfangs nur sehr wenig; die Kreise, welche die Sonne und alle übrigen Gestirne vermöge der täglichen Bewegung der Erde beschreiben, neigen sich zwar mehr und mehr gegen den Horizont, aber immerhin wird die Sonne in allen Erdgebieten, die bis zu 23½ Grad Breite den Äquator zu beiden Seiten umgeben, zweimal im Jahre im Zenit des Beobachtungsortes stehen und die Bewohner jene maximale Hitze genießen lassen, die unter dem Äquator das ganze Jahr stattfindet. Man hat deshalb diesen Gürtel zwischen 23½ Grad nördlicher und südlicher Breite die heiße Zone genannt. Auf den Erdgloben pflegt man die sie begrenzenden Parallelkreise als Wendekreis des Krebses im Norden und des Steinbocks auf der Südhalbkugel besonders hervorzuheben. Die Benennungen rühren von den Tierkreiszeichen her, in denen sich die Sonne zu den Zeiten befindet, in denen sie über den Scheitel ihrer Grenzgebiete hinweggeht. Wegen der immer schräger werdenden Lage der Tagbogen verändern sich aber auch die Tageslängen je nach dem Stande der Sonne. Befinden wir uns an der nördlichen Grenze

der heißen Zone unter dem Wendekreis des Krebses, so haben wir den längsten Tag, wie überall auf der Erde, zur Zeit des höchsten Mittagssonnenstandes, in diesem Falle also zur Zeit der Sommersonnenwende, wo die Sonne ebensoweit vom Himmelsäquator nach Norden hin abweicht wie der Beobachtungsort vom Erdäquator, also über den Scheitelpunkt hinweggeht. Wegen der um diese $23\frac{1}{2}$ Grad geneigten Lage des Tagbogens zum Horizont greift der erstere (s. die untere Zeichnung auf S. 452) nach Norden hin über den Ost- und Westpunkt hinaus. Die Tageslänge beträgt deshalb mehr als 12 Stunden, und zwar 13 Stunden 27 Minuten. Sobald nun die Sonne sich auf ihrer jährlichen Reise nach Süden wendet, nehmen die Längen der Tagbogen beständig ab und erreichen ihr Minimum, wenn die Sonne sich im Wintersolstitium befindet; dann steht sie offenbar um $2 \times 23\frac{1}{2} = 47$ Grad zur Mittagszeit vom Zenit eines Ortes im Wendekreis des Krebses ab. Die minimale Kulminationshöhe der Sonne beträgt hier also $90 - 47 = 43$ Grad, und die Länge des Tages ist dann gleich 10 Stunden 33 Minuten.

Übrigens lassen sich alle diese Verhältnisse der täglichen Bewegung in eine sehr einfache trigonometrische Formel bringen, deren Herleitung wir hier übergehen müssen; sie lautet $\cos t = - \operatorname{tg} \varphi \operatorname{tg} \delta$, wo t der halbe gesuchte Tagbogen, φ die geographische Breite des Beobachtungsortes und δ die Deklination des Gestirnes, hier der Sonne, bedeutet. Wenden wir z. B. diese Formel für den Äquator an, für den $\varphi = 0$ ist, so sehen wir sofort, daß der Tagbogen ganz unabhängig von der Deklination der Sonne wird, da $\cos t$ immer gleich 0, d. h. $t = 90$ Grad oder 6 Stunden ist. Ist dagegen $\delta = 0$, d. h. befindet sich die Sonne im Himmelsäquator, so ist wieder, und zwar nun für jede geographische Breite, d. h. für die ganze Erde, $\cos t = 0$; es ist Tag- und Nachtgleiche. Für die Breite $23\frac{1}{2}$ Grad und eine gleiche nördliche Deklination erhalten wir einen halben Tagbogen von 100,9 Grad oder 6 Stunden 43,6 Minuten, für eine südliche Deklination von $23\frac{1}{2}$ Grad dagegen einen halben Tagbogen von 79,1 Grad oder 5 Stunden 16,4 Minuten. Nach wahrer Sonnenzeit geht also die Sonne zu Sommersanfang unter dem Wendekreis des Krebses um 5 Uhr 16,4 Minuten morgens auf und um 6 Uhr 43,6 Minuten abends unter; zu Wintersanfang dagegen um 6 Uhr 43,6 Minuten morgens auf und um 5 Uhr 16,4 Minuten abends unter. (Immer ohne Berücksichtigung der Refraktion, da es uns hier nur auf die rein geometrischen Verhältnisse ankommt.) Wir sehen, daß die Unterschiede hier zwischen Sommer und Winter keine größeren sind, als unter unseren Breiten die Sonnenauf- und Untergänge zwischen Ende Februar und Mitte April schwanken. Begeben wir uns an die südliche Grenze der heißen Zone, auf den Wendekreis des Steinbocks, so treten genau die umgekehrten Verhältnisse ein: der höchste Stand der Sonne findet zur Zeit ihrer größten südlichen Deklination, d. h. beim Wintersolstitium der nördlichen Halbkugel statt, welches mithin auf der südlichen Halbkugel zum Sommersolstitium wird.

Jenseits der Wendekreise gegen die Pole hin werden die Tageslängen in den Jahreszeiten immer verschiedener. Die Sonne kann in diesen Erdstrichen niemals mehr in den Zenit des Beobachtungsortes treten, dagegen kann sie an einem bestimmten Parallel während ihrer maximalen Abweichung vom Himmelsäquator eine Mittagshöhe von nur 0 Grad haben, d. h. an diesem Tage gar nicht mehr über den Horizont kommen. Wir können leicht finden, unter welcher Breite dies einmal im Jahre stattfinden muß. Ist die Sonne zur Mittagszeit im Horizonte, während ihre Deklination zugleich ein Minimum ist, so befindet sich der Durchschnittspunkt des Himmelsäquators mit dem Meridian des Beobachtungsortes

zugleich 23½ Grad über dem Horizont, also der Pol auf der entgegengesetzten Seite um 90 — 23½° = 66½°. Unter einer geographischen Breite von 66½ Grad steigt demnach die Sonne am Tage des betreffenden Solstitiums überhaupt nicht mehr über den Horizont; auf der nördlichen Halbkugel während ihres Wintersolstitiums, auf der südlichen Halbkugel ein halbes Jahr später.

Man hat die so ausgezeichneten Grenzparallele die Polarkreise genannt. Das Gebiet zwischen den Wendekreisen und den Polarkreisen auf jeder Erdhälfte heißt die gemäßigte Zone. Innerhalb derselben wechselt Tag und Nacht noch regelmäßig ab zwischen den extremen Grenzen einer jährlich einmal eintretenden 24stündigen Nacht und eines 24stündigen Tages. Für diese Zone kulminiert die Sonne auf unserer Halbkugel stets im Süden, auf der entgegengesetzten stets im Norden. Wegen der stärkeren Neigung der Tagbogen zum Horizonte verlängert sich immer zugleich das vermittelnde Phänomen der Dämmerung; von einer Breite von 66½ — 18 = 48½° an kann diese während der ganzen Nacht andauern, da hier um die Zeit des Sommersolstitiums die Sonne um Mitternacht weniger als 18 Grad unter dem Horizonte steht. Die Anzahl dieser hellen Sommernächte nimmt mit der geographischen Breite zu. In Berlin dauern sie vom 17. Mai bis 25. Juli. In Petersburg dagegen dehnen sich die hellen Nächte über einen großen Teil des Sommers, vom 21. April bis 21. August, aus, und man kann dann gewöhnliche Druckschrift im Freien ohne künstliche Beleuchtung lesen. Infolge der von den Wende- nach den Polarkreisen hin stetig wachsenden Ungleichheit der Tageslängen werden die Kontraste der Jahreszeiten auch immer größer. Aus der nachstehenden kleinen Tabelle ist zu ersehen, wie viele Stunden lang die Sonne in den verschiedenen Jahreszeiten und unter den beigefügten Breiten sich über dem Horizonte befindet, wenn die Refraktion unberücksichtigt bleibt.

Die Sonnenbestrahlung in den Jahreszeiten.

Datum:	22. Dez. bis 20. März	21. März bis 21. Juni	22. Juni bis 23. Sept.	24. Sept. bis 21. Dez.
Anzahl der Tage:	89	93	94	89
$\varphi = 0{,}00$	1068 Stunden	1116 Stunden	1128 Stunden	1068 Stunden
$\varphi = 23{,}45$	989 „	1186 „	1211 „	988 „
$\varphi = 66{,}55$	559 „	1663 „	1667 „	551 „
$\varphi = 90{,}00$	0 „	2232 „	2256 „	0 „

Während unter den Wendekreisen die Stundenzahl, in der die Sonne Wärme und Licht den betreffenden Erdstrichen zuströmen läßt, im Laufe der Jahreszeiten noch nicht so beträchtlich schwankt, daß eine merkliche Beeinflussung des organischen Lebens dadurch hervorgerufen wird, werden die Unterschiede weiter nach den Polen hin bald so groß, daß eine Anzahl von Gewächsen auch im Laufe der wärmeren Jahreszeit nicht mehr die genügende Energiezufuhr durch die Sonne erhält, um reifen zu können. Für die Laubgewächse hört die Möglichkeit, ihre Blätter immergrün zu erhalten, auf; der Wechsel der Jahreszeiten tritt in der landschaftlichen Szenerie immer deutlicher hervor, und schließlich gelangen wir in Regionen, in denen während der Winterszeit die immer geringer werdende Wärmemenge überhaupt nicht mehr genügt, das vegetabilische Leben zu erhalten. Die Tagestemperatur sinkt unter den Nullpunkt, die Niederschläge gefrieren, und die Eisdecke, die sich in Nächten und sonnenlosen Tagen über die Erdoberfläche ausbreitet, vermag in den wenigen Stunden der winterlich schräg auffallenden Sonnenbestrahlung nicht mehr zu schmelzen. Erst wenn die Sonne mehr und mehr im Sommer über den Äquator emporsteigt, kann sie namentlich

in den höheren Breiten durch die beträchtlich zunehmende Länge des Tages trotz ihrer schräg auffallenden Strahlen schließlich sogar eine größere Summe von Wärme und Licht während eines Tages der Erdoberfläche zuführen als unter dem Äquator, so daß die Hitze der Sommertage in der Gegend der Polarkreise der unter dem Äquator unter günstigen Umständen nicht nachsteht. Freilich dauern diese schönen Tage, je weiter wir uns den Polen nähern, nur um so kürzere Zeit an.

Begeben wir uns von den Polarkreisen noch weiter nach den Polen hin, so beobachten wir, daß zur Zeit der Sommersonnenwende Tage, Wochen und schließlich Monate hindurch die Sonne überhaupt nicht unter den Horizont herabsinkt, während zur Zeit des Wintersolstitiums ebensolange beständige Nacht herrscht. An den beiden Erdpolen selbst gibt es keinen Unterschied mehr zwischen Tag und Jahr. Die leuchtende Hälfte des Tages ist dort 6 Monate lang, und ebensolange dehnt sich die Nacht aus, allerdings durch eine sehr lange anhaltende Dämmerung vermittelt, die dort länger ist als die eigentliche Nacht und 94—95mal 24 Stunden umfaßt. Die geometrische Ursache dieses nur einmaligen Tageswechsels unter den Polen erhellt aus dem Vorangegangenen unmittelbar. Wir wissen, daß hier der Himmelsäquator mit dem Horizont zusammenfällt, und die Fixsterne weder auf- noch untergehen. Die tägliche Bewegung der Erde ist also an diesen Punkten ohne allen Einfluß auf den Wechsel von Tag und Nacht, und nur die jährliche scheinbare Bewegung der Sonne kann diesen Wechsel bewirken. Solange dieselbe sich auf der entgegengesetzten Himmelshalbkugel zwischen ihrer extremen Deklination von 23½ Grad und der von 18 Grad befindet, kann auch vermöge der Lichtzerstreuung in der Atmosphäre kein Lichtschimmer von ihr bis zum Pol gelangen. Innerhalb jener Deklination befindet sich aber für die nördliche Halbkugel die Sonne etwa vom 10. November bis Ende Januar, und innerhalb einer Zeit von 84 mittleren Sonnentagen herrscht dort absolut finstere Nacht. Dann beginnt die erste Dämmerung, die bis zur Frühlingsnachtgleiche am 21. März anhält, wo sich die Sonne zugleich mit ihrem Eintritt in den Äquator auch nach halbjähriger Abwesenheit zuerst wieder über den Horizont des Poles erhebt, um, in langsam ansteigender Schraubenlinie den Pol umkreisend, sich bis zur Herbstnachtgleiche beständig über dem Horizont zu halten. Sie kann nun in einer von keinen Nächten unterbrochenen Arbeit durch ihre beständige Strahlung einen Teil der Verwüstungen wieder wettmachen, welche die ungehindert eindringende Kälte des Weltraumes in der langen Polarnacht angerichtet hat; und alle die kühnen Männer, die in diese unwirtlichen Regionen des höchsten Nordens vordrangen, schildern mit begeisterten Worten die wunderbare Üppigkeit des Pflanzenwuchses und die entzückende Schönheit der Alpenflora, die nach Überwindung der starren Eisdecke der lange Sommertag selbst hier noch durch die beständige Wirkung der belebenden Sonnenstrahlen mit unglaublicher Schnelligkeit hervorzuzaubern vermag. Zarte Keime und üppig aufschießende Blüten müssen sogar unter der Fülle der ununterbrochenen Bestrahlung nach ganz kurzer Lebensdauer schnell wieder verdorren, wo an Felsabhängen das sonst reichlich vorhandene Schmelzwasser versiegt ist. Freilich sind die kurzen Wochen dieser glücklichen Zeit nicht mehr imstande, andere als Halm- und Krautgewächse emporschießen zu lassen; die Baumgrenze reicht nicht erheblich über den nördlichen Polarkreis hinaus. Nur ganz armseliges Birken- oder Zwergweidengestrüpp trifft man zuweilen noch an.

Fassen wir einmal die Verhältnisse des Sonnenlaufes für den das unwirtliche Franz



Josephs-Land im Norden berührenden Breitengrad ins Auge. Da hier, unter 83 Grad Breite, der Äquator gegen den Horizont nur noch um 7 Grad geneigt ist, so tritt nach der langen Polarnacht die Sonne zum erstenmal um Mittag über den Horizont, sobald sie eine südliche Deklination von 7 Grad erreicht hat. Dies findet am 2. März statt. Zur Zeit des Frühlingsanfanges ist dagegen hier der leuchtende Tag wie überall auf der Erde bereits 12 Stunden lang; in der kurzen Zeit von 19×24 Stunden wächst also der helle Tag von 0 auf 12 Stunden, und schon am 7. April, sobald die Sonne eine nördliche Deklination von 7 Grad erreicht hat, tritt der Moment ein, von dem ab sie überhaupt nicht mehr unter den Horizont hinabsinkt, weil bei einer Polhöhe von 83 Grad der Nordpunkt des Horizontes eine Deklination von $90-83=7^{0}$ haben muß. Das Tagesgestirn streift dann also um Mitternacht den nördlichen Horizont, und man genießt das eigenartige Schauspiel der Mitternachtssonne (s. die beigeheftete Tafel), das man bekanntlich in vorgerückterer Jahreszeit auch schon in den nördlich vom Polarkreise liegenden Gebieten Skandinaviens beobachten kann. Die wunderbare Farbenpracht, die dann die langsam über eisige Felder oder weite Meere am Horizonte hinschleichende Sonne hervorzaubert, ist vielfach der Gegenstand begeisterter Schilderung gewesen. Unter dem 83. Breitengrade währt nun der Tag vom 7. April bis zum 4. September ununterbrochen, dann erst taucht die Sonne um Mitternacht auf ganz kurze Zeit unter den Horizont. Zur Herbstnachtgleiche, am 23. September, haben wir den allgemeinen 12stündigen Tag, aber schon am 11. Oktober sehen die bis hierhin vorgedrungenen Nordpolfahrer während einiger Augenblicke um Mittag die Sonne zum letztenmal. Es tritt nun eine ununterbrochene Dämmerungszeit ein, die sich auch über die Mitternacht ausdehnt, bis am 21. Oktober die Sonne eine südliche Deklination von 11 Grad erreicht hat und damit gegen Mitternacht um $7+11=18^{0}$ unter dem Nordpunkte des Horizontes liegt. Jetzt erst tritt um Mitternacht herum völlige Dunkelheit ein, die sich immer mehr in den Tag ausdehnt; niemals aber wird für den aufmerksamen Beobachter hier der Tagesrhythmus ganz unbemerkt vorübergehen, da selbst beim südlichsten Stande der Sonne diese um Mittag noch weniger als 18^{0} $(23^{1}/_{2}-7=16^{1}/_{2}{}^{0})$ unter dem Horizonte hinzieht, um den Eintritt der Mittagszeit durch einen schwachen Dämmerschein im Süden zu verkünden. Erst bei einer geographischen Breite von $90-(23{,}5-18)=84{,}5^{0}$ tritt die völlig dämmerungslose Polarnacht ein. Nur Nansen und seine Gefährten haben sie bisher gesehen, denn Cagni von der italienischen Expedition der „Stella Polare", der allerdings noch etwas weiter wie Nansen, bis zu 86° 34′ Breite, vordrang, hat seinen Vorstoß zur Frühjahrszeit unternommen.

Wir haben schon früher bemerkt, daß die Bewegung der Sonne um den Himmel, durch die der geschilderte Wechsel der Tages- und Jahreszeiten entsteht, in einem sogenannten größten Kreise vor sich geht, den man die Ekliptik nennt. Daß die Bewegung der Sonne in diesem Kreise nicht gleichmäßig schnell stattfindet, haben wir aus den wechselnden Werten der Zeitgleichung erkannt. Diese Ungleichheiten können dadurch entstehen, daß die Sonne außer der in Rektaszension vorschreitenden Bewegung auch noch eine solche in Deklination ausführt. Gleiche auf der Ekliptik abgeteilte Abschnitte erzeugen auf dem Äquator ungleiche Rektaszensionsabschnitte. Zur Zeit der Nachtgleichen müßte die Rektaszension der Sonne langsamer zunehmen als zur Zeit der Solstitien, auch wenn sie sich in der Ekliptik gleichmäßig schnell bewegte. Aber diese geometrische



MITTERNACHTSONNE AM NORDKAP

Beziehung ist nur ein Teil der Ungleichheiten, durch welche die Zeitgleichung entsteht. Es zeigt sich vielmehr, daß die Sonne auch in der Ekliptik selbst bald schneller, bald langsamer vorwärtsschreitet, und zwar hat sie ihre schnellste Bewegung um die Zeit des Anfanges unseres bürgerlichen Jahres, ihre langsamste ein halbes Jahr später, Anfang Juli. (Deshalb gebrauchten wir zur Definition der Zeitgleichung, S. 492, der beiden erdachten Sonnen.) Gleichzeitig nehmen wir im Meridiankreise wahr, daß der Durchmesser der Sonne im gleichen Tempo wächst, und zwar im Januar am größten, im Juli am kleinsten ist. So beträgt der Sonnendurchmesser am 1. Januar 32′ 36,4″, am 1. Juli dagegen nur 31′ 32,0″. Daraus geht hervor, daß wir im Januar der Sonne näher sind als im Juli. Man sagt deshalb, die Sonne befinde sich im Januar in ihrem Perigäum (Erdnähe), im Juli im Apogäum (Erdferne).

Wegen der veränderlichen Sonnenbewegung haben auch die Jahreszeiten eine ungleiche Länge. Die Sonnennähe, also auch die schnellste Bewegung des Tagesgestirnes, fällt nahezu mit unserem Wintersolstitium zusammen; die Sonne braucht deshalb weniger Zeit, um vom Herbstäquinoktium zu dem des Frühlings zu gelangen, als umgekehrt von der Frühlings- zur Herbstnachtgleiche, obgleich sie in beiden Fällen einen genauen Halbkreis um die Himmelskugel beschreibt. Gegenwärtig beträgt die Länge des astronomischen Frühlings unserer Erdhalbkugel 92,9, die des Sommers 93,6, des Herbstes 89,7 und des Winters 89,1 Tage. Das Sommerhalbjahr ist also 186,5, das Winterhalbjahr dagegen nur 178,8 Tage lang; der Unterschied zwischen beiden beträgt 7,7 Tage. Da zur Zeit des Winterhalbjahres unserer Halbkugel die Sonne uns näher ist als im Sommer, so wirkt ihre Wärmestrahlung an sich um diese Zeit kräftiger als im Sommer auf uns, und nur durch den schrägen Einfall ihrer Strahlen wird dieser Zuwachs wieder mehr als aufgehoben. Immerhin wird dadurch und durch die geringere Länge des Winterhalbjahres die Strenge des Winters für unsere Halbkugel gemildert, während für die südliche Halbkugel das Umgekehrte stattfindet. Das Apogäum fällt nahezu mit dem dortigen Wintersolstitium zusammen, die größere Entfernung der Sonne und die größere Länge des Winters machen letzteren dort strenger als bei uns, und es ist deshalb höchstwahrscheinlich, daß die weit ausgedehntere Vereisung der Südpolarregionen gegenüber denen des Nordpoles hierin ihren Grund hat.

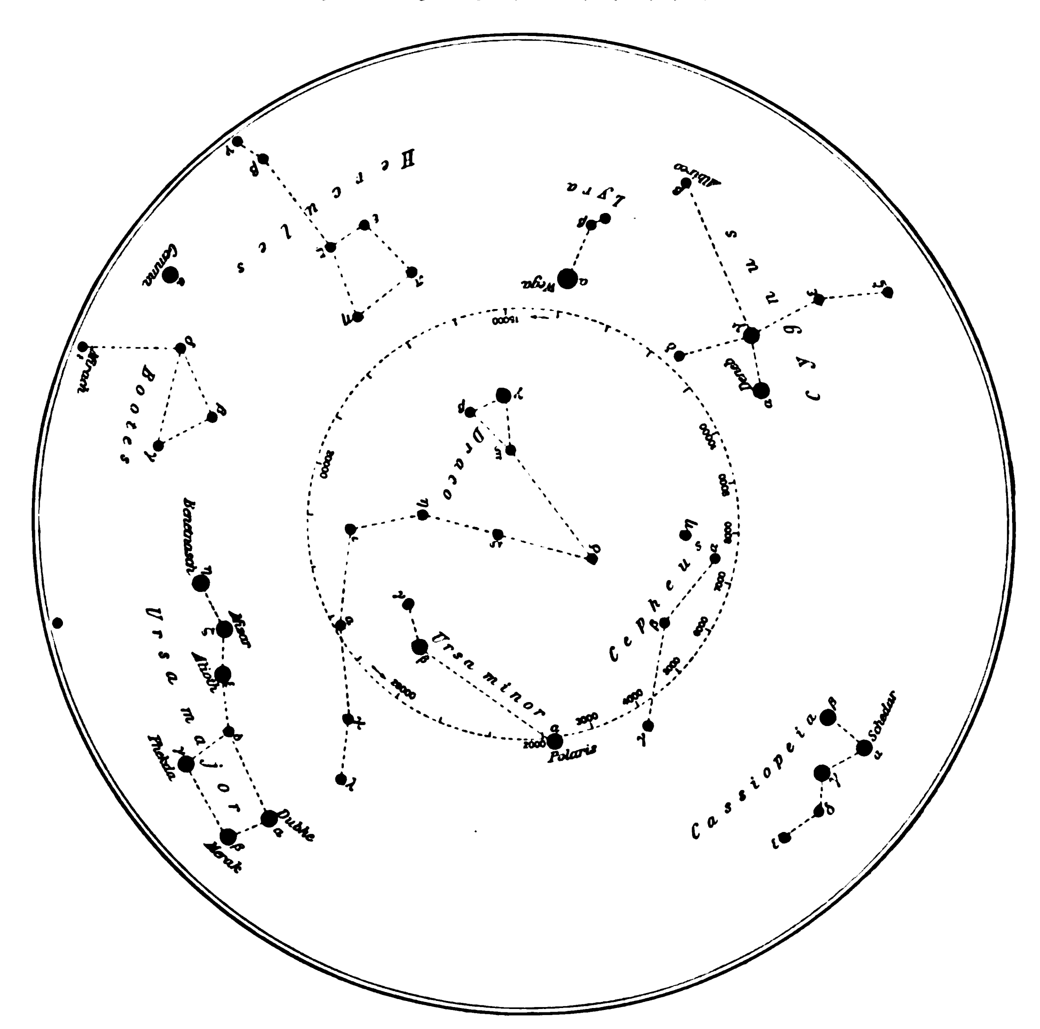
Aber diese Verhältnisse sind nicht unveränderlich. Es zeigt sich, daß die Richtung der Apsidenlinie, mit welchem Ausdruck man die Verbindungslinie zwischen Perigäum und Apogäum bezeichnet, nach Newcomb jährlich um 61,891″ auf der Ekliptik fortschreitet, so daß in etwa 10,500 Jahren genau die umgekehrten Verhältnisse vorliegen werden wie heute, d. h., daß dann unsere nördliche Halbkugel extreme und lange Winter haben wird. Ist wirklich die größere Vereisung des Südpoles eine Folge dieser Beziehungen, so müßte nach 10—11,000 Jahren unsere Halbkugel das gleiche Schicksal erreicht haben. Gegenwärtig beträgt der Unterschied der mittleren Jahrestemperaturen unserer Breiten mit denen gleicher südlichen Breiten mehr als 5 Zentigrad. Ein solcher Unterschied würde aber nach Penck genügen, um die Erscheinungen der Eiszeiten zu erklären, die in gewissen Zeitabschnitten wiederholt unsere heimatlichen Erdstriche mit riesigen Gletschern ganz überzogen haben. Wie lang die zwischen den verschiedenen Eiszeiten liegenden Intervalle waren, läßt sich durch geologische Forschungen nicht ermitteln, aber jene 21,000 Jahre, nach denen unter den gemachten Voraussetzungen die gleichen

astronomischen Verhältnisse auf derselben Erdhalbkugel wieder eintreten müssen, stehen jedenfalls nicht mit den geologischen Tatsachen im Widerspruch. Dennoch wird, wie auch aus vorangegangenen Betrachtungen über die Polschwankungen hervorgeht, das Problem der Eiszeiten ein verwickelteres sein, in das die eben erörterten Verhältnisse nur als ein mitwirkender Faktor eingreifen.

Auch die Schiefe der Ekliptik, d. h. die maximale Abweichung der Sonne vom Himmelsäquator, zeigt sich nicht ganz konstant. Wir hatten sie zur Abteilung der Zonen ꝛc. rund mit $23^1/_2$ Grad angenommen; ihr genauer Wert betrug nach Newcomb zu Anfang unseres Jahrhunderts (1900,0) 23° 27′ 8,26″, und sie nimmt jährlich 0,4684″ ab. Aus theoretischen Gründen folgt, daß diese Abnahme selbst nicht konstant sein kann, sondern nach einer gewissen Zeit wieder langsam in eine Zunahme übergehen muß, so daß die Schwankungen der Schiefe der Ekliptik sich innerhalb eines Grades auf und ab bewegen. Wie wesentlich dieser Wert auf das Wechselspiel der Jahreszeiten einwirkt, geht aus dem Vorangegangenen unmittelbar hervor. Wir sahen ja, daß dieser Wert die Grenzlinien zwischen den Zonen, die Wende- und Polarkreise, auf der Erdkugel festlegt, die sich mit der Schiefe der Ekliptik verschieben. Fiele z. B. die Sonnenbahn mit dem Äquator zusammen, so fänden überhaupt keine Unterschiede der Jahreszeiten statt, denn es wäre fortwährend Tag- und Nachtgleiche auf der ganzen Erde; die mittlere Wärmemenge, die einem Orte der Erdoberfläche täglich zuströmt, wäre nur noch von der geographischen Breite, nicht mehr von der jährlichen Bewegung der Sonne abhängig. Betrüge dagegen die Schiefe der Ekliptik 90 Grad, so würden sich die Verhältnisse der Jahreszeiten zu den denkbar extremsten zuspitzen. Die Sonne könnte dann für jeden Ort der Erdoberfläche jährlich einmal den Zenit passieren und somit in der Sommerzeit eine tropische Hitze erzeugen. Ebenso gäbe es dann in allen Breiten lange Polarnächte, während deren die Sonne gar nicht aufginge, und entsprechend lange Zeiten, in denen die Mitternachtssonne sichtbar wäre. Wir sehen also, daß mit zunehmender Schiefe der Ekliptik die Extreme der Jahreszeiten sich verschärfen müssen. Schon bei der Schilderung der Jahreszeitenverhältnisse auf dem Mars haben wir auf diesen Umstand hingewiesen. Wir werden es nach alledem besser verstehen, daß wir über die entsprechenden Verhältnisse auf anderen Weltkörpern die bestimmtesten Schlüsse zu ziehen vermögen, sobald wir über die dort herrschende Schiefe der Ekliptik unterrichtet sind.

Ebenso wie die Richtung der Apsidenlinie bleibt auch die Lage der Nachtgleichenpunkte zu den Fixsternen nicht konstant. Dies zeigt sich darin, daß die vom Frühlingspunkt gezählten Rektaszensionen aller Gestirne regelmäßig zunehmen, und zwar beträgt diese Zunahme für einen im Himmelsäquator befindlichen Stern nach Newcomb jährlich 50,2564″ (für 1900,0). Man hat diese Erscheinung die Präzession der Nachtgleichen genannt. Bei der verhältnismäßigen Größe ihres Wertes ist es begreiflich, daß man sie schon sehr früh entdeckt hat. Sie ist jedenfalls vor den alexandrinischen Astronomen bekannt gewesen, aber Hipparch war unseres Wissens der erste, der ihren Wert etwas genauer zu bestimmen suchte. Die Präzession ändert aber die Rektaszension der Sterne nicht gleichmäßig; sie wirkt vielmehr so, daß nur die ekliptikalen Längen der Sterne überall am Himmel gleich beeinflußt werden und die ekliptikalen Breiten sich überhaupt nicht ändern. Wir können uns den Vorgang folgendermaßen vorstellen. Wir ziehen zunächst, sagen wir auf der Ebene eines Tisches, einen Kreis, der die Ebene der

Ekliptik darstellen soll. Über diesem Kreise stellen wir eine Halbkugel als Himmelsgewölbe auf und bringen in dessen Mitte einen Kreisel an, die Erde. Der Kreisel soll aber nicht senkrecht stehen, sondern seine rotierende Scheibe soll gegen die Ebene des Tisches um 23,5 Grad geneigt sein. Der Kreisel wird nun seine ursprüngliche Lage nicht innehalten; war seine Achse zuerst nach rechts geneigt, so dreht sie sich ihrerseits so, daß sie bald nach



Bewegung des Himmelspoles um den Pol der Ekliptik infolge der Präzession. Vgl. Text, S. 508.

links um denselben Winkel geneigt ist, behält aber während dieser Drehung den Winkel mit der Tischebene stets bei. Dieses Schwanken der Kreiselachse um eine Mittellage, so daß die Achse dabei auf der Fläche eines Kegels hinläuft, entspricht der Präzessionsbewegung der Erdachse.

Wir haben davon bereits bei Gelegenheit der Polhöhenschwankungen andeutungsweise gesprochen und darauf hingewiesen, daß die hierdurch hervorgerufenen Erscheinungen ganz anderer Art sind als die durch jene Polhöhenschwankungen erzeugten. Durch letztere

wird die Lage eines Ortes auf der Erde zu Pol und Äquator verändert, also, wenn auch unmerklich, ebenso seine Beziehungen zur Sonne und zu den Grenzen der klimatischen Zonen: der Punkt, um den sich das Himmelsgewölbe zu drehen scheint, wird durch die Polhöhenschwankungen gegen den Horizont des Beobachtungsortes hin verschoben. Die Präzession dagegen ändert diese Höhe nicht, sie bewirkt nur, daß sich das Himmelsgewölbe scheinbar ganz langsam um einen Punkt dreht, der vom Pol $23^1/_2$ Grad entfernt liegt und als Pol der Ekliptik bezeichnet werden kann. Infolgedessen weist die Erdachse nach und nach auf andere Sterne des Himmelsgewölbes; andere Sterne werden im Laufe der Jahrhunderte zu Polsternen, die gar nicht oder doch nur sehr wenig an der täglichen Bewegung teilnehmen. Wega z. B., einer der hellsten Sterne unserer nördlichen Himmelshälfte, der bei der gegenwärtigen Lage der Polarachse sehr große Höhenschwankungen durch die tägliche Bewegung in unseren Breiten ausführt, so daß er zu gewissen Zeiten den nördlichen Horizont streifen, zu anderen Zeiten beinahe unseren Zenit passieren kann, wird in etwa 12,000 Jahren zum ruhenden Polarstern geworden sein, der in beständig gleicher Höhe über dem Horizont eine weit glänzendere Himmelsmarke für den Seefahrer sein wird als der Stern 2. Größe, der seit den Zeiten des Altertums diese Aufgabe erfüllt.

Aus dem beigefügten Kärtchen (S. 507) ist zu ersehen, auf welche Himmelsgegenden nacheinander die Polarachse weisen wird; eine volle Umdrehung derselben vollzieht sich, wenn nicht unbekannte Einwirkungen die Präzessionsbewegung zu einer veränderlichen machen, in $360^0 : 50{,}26'' = 25{,}800$ Jahren. Man hat diese Zeitspanne das Platonische Jahr genannt. Alle Bewegungserscheinungen, die hiermit zusammenhängen, haben offenbar keinerlei Einfluß auf die Lage der klimatischen Zonen, da die Schiefe der Ekliptik ebensowohl wie die Polhöhe nicht verändert wird. Nur insofern wirkt die Präzession auf das Verhältnis zwischen Sommer und Winter, als sie den wesentlichsten Teil der vorhin besprochenen Bewegung der Apsidenlinie hervorbringt. Die wahre, d. h. in bezug auf einen festen Punkt des Himmelsgewölbes, nicht auf den Äquinoktialpunkt bezogene Bewegung der Apsiden ist offenbar nur gleich $61{,}891'' - 50{,}256 = 11{,}635''$ im Jahre. Solche wahre Bewegungen pflegt man durch das Beiwort siderische von den tropischen zu unterscheiden, die sich auf den vermöge der Präzession bewegten Nullpunkt der Rektaszensionszählung, den Frühlingsnachtgleichenpunkt, beziehen. Man unterscheidet deshalb auch das tropische von dem siderischen Jahre. Die Länge des tropischen Jahres, die unserer Zeitrechnung zugrunde liegt, ist, wie schon oben angeführt, gleich 365,2422 Tagen oder 365 Tagen 5 Stunden 48 Minuten 46,17 Sekunden. Das siderische Jahr dagegen ist etwas länger, weil der Nachtgleichenpunkt der jährlichen Bewegung der Sonne entgegenläuft, letztere also, nachdem sie den Äquator wieder passiert hat, noch etwas weiter gehen muß, um zu demselben Sterne wie zu Anfang des Jahres zurückzukehren. Sie durchläuft diese 50,2″ der Präzessionsbewegung in 20 Minuten 23,2 Sekunden. Das siderische Jahr hat demnach 365 Tage 6 Stunden 9 Minuten 10,71 Sekunden.

Die durch die Präzession hervorgebrachte veränderliche Lage des gestirnten Himmels zum Horizont des Beobachtungsortes hat zu mancherlei interessanten historischen Untersuchungen Anlaß gegeben; insbesondere konnte man berechnen, wie viele Jahre gegen unsere Zeitrechnung zurückliegend gewisse Darstellungen der Sternbilder des Tierkreises oder auch ganze Bauwerke, wie die Pyramiden, entstanden sind. Man zeichnete die Sternbilder, durch die sich die Ekliptik hinzieht, stets in besonderer Weise aus, indem

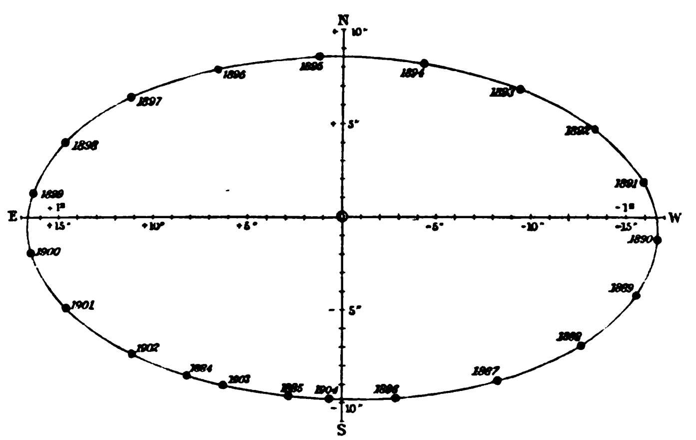
man diesen Gürtel als **Tierkreis** (Zodiakus) in **zwölf Zeichen** zerlegte. Diese 30 Grad umfassenden Zeichen fielen seinerzeit mit den betreffenden Sternbildern zusammen; die Sonne durchwanderte also damals zwischen der Frühlingsnachtgleiche und unserem Sommersolstitium die Sternbilder und Zeichen von Widder, Stier und Zwillingen; dann bis zum Herbstäquinoktium Krebs, Löwe und Jungfrau; weiter bis zum Wintersanfang Wage, Skorpion, Schütze und endlich bis zur Frühlingsnachtgleiche zurück Steinbock, Wassermann und Fische.

Durch die Gebräuche des Kalenders sind die Grenzen der Tierkreiszeichen auf der Ekliptik festgehalten, so daß man von alters her sagt, die Sonne steht im Zeichen des Widders, wenn ihre Länge zwischen 0 und 30 Grad, im Stier, wenn sie zwischen 30 und 60 Grad liegt u. s. f. In Wirklichkeit befindet sich dagegen das Tagesgestirn heute nicht mehr in den zugehörigen Sternbildern, sondern um eines derselben zurück. (Siehe auch die Karte der Äquatorzone des gestirnten Himmels bei S. 314, worin die Ekliptik eingezeichnet ist.) Der Frühlingsnachtgleichenpunkt liegt heute im Sternbild der Fische; wenn die Sonne in das Zeichen des Stieres übertritt, befindet sie sich noch im Sternbilde des Widders u. s. w. Unser Kalender erweist sich also als ein uraltes Dokument und Beweisstück für das Vorrücken der Nachtgleichen. Alte Tierkreiszeichnungen, in denen die Sternbilder dieses Gürtels gleichzeitig mit den Durchschnittspunkten der Ekliptik mit dem Äquator angegeben sind, verraten hierdurch ohne weiteres ihr Alter, indem man durch die Rückrechnung der Präzessionsbewegung finden kann, wann die entsprechende Lage des Frühlingspunktes wirklich stattgefunden hat.

Das älteste der betreffenden Dokumente ist der berühmte Zodiakus von Denderah in Oberägypten, bei dem die Schnittpunkte um mehr als 60 Grad gegen ihre heutige Lage verschoben sind. Diese 60 Grad werden von der Präzession in 4300 Jahren zurückgelegt. Die Tierkreisabbildung von Denderah, die an einem alten Tempel angebracht war, mußte also mit dem letzteren etwa um das Jahr 2400 v. Chr. entstanden sein. Zu ähnlichen Schlüssen haben die Forschungen bezüglich der Orientierung der Pyramiden und der altgriechischen Tempel geführt. Die letzteren waren so eingerichtet, daß während gewisser Feste die Sonne bei ihrem Aufgang gerade die Statue des Gottes beleuchtete, die im Allerheiligsten aufgestellt war. Das Datum dieser Feste aber wurde durch die Beobachtung der sogenannten **heliakischen Aufgänge** der Gestirne festgelegt. Man sagte, ein Stern gehe heliakisch auf, wenn er zum erstenmal am Morgenhimmel wieder sichtbar wurde. Dieser Augenblick hängt allein von der Stellung der Sonne im Tierkreise für einen und denselben Ort ab. Durch die jährliche Bewegung der Sonne wird ein Stern des Tierkreises, der heute mit der Sonne zugleich aufgeht, morgen bereits etwas früher als sie über den Horizont steigen, weil die jährliche Bewegung der Sonne der täglichen entgegengesetzt ist. Indem der Stern nun immer früher aufgeht, wird er in eine immer frühere Dämmerungszone gelangen, bis er schließlich für das bloße Auge zuerst wieder sichtbar wird, nachdem er vorher einige Monate lang, am Tageshimmel stehend, unsichtbar gewesen war. Dieser heliakische Aufgang findet also stets in einer ganz bestimmten Entfernung des Sternes von der Sonne, d. h. in einer ganz bestimmten siderischen Lage der letzteren statt. Vermöge der Präzession müssen offenbar die heliakischen Aufgänge nach und nach in verschiedene Jahreszeiten fallen, mit denen zugleich die Lage des Sonnenaufgangspunktes wechselt. Die Orientierung eines Tempels nach den oben

angedeuteten Prinzipien wird demnach im Laufe verschiedener Jahrhunderte eine verschiedene sein müssen, und die vorgefundene Orientierung gibt daher ihr Alter an.

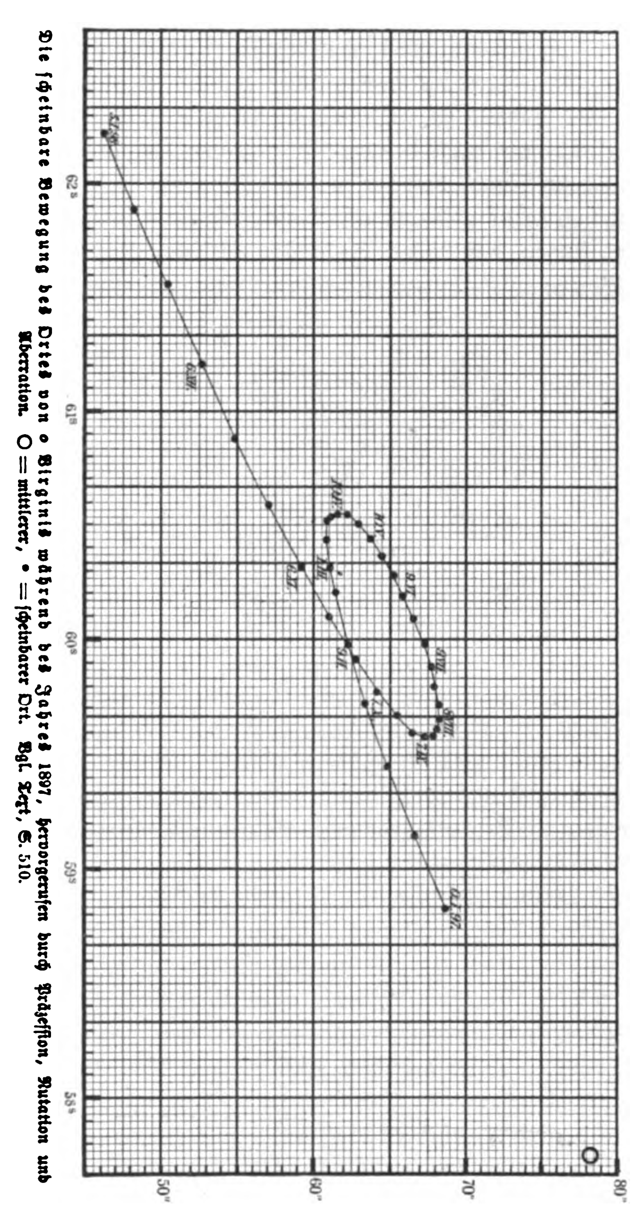
Bei dieser Gelegenheit der Besprechung der heliakischen Aufgänge mag auch kurz als eigentlich selbstverständlich angeführt werden, daß die Verschiedenheit des nächtlichen gestirnten Himmels in den verschiedenen Jahreszeiten eine Folge der scheinbaren Bewegung der Sonne um den Himmel ist. Es kommen dadurch nach und nach andere Fixsterne zur Sonne in Opposition, so daß sie um Mitternacht kulminieren. Nach 6 Monaten befindet sich immer derjenige Teil zur Nachtzeit im Süden, der 6 Monate vorher zur entsprechenden Tageszeit sich an derselben Stelle befunden hat und deshalb wegen der Nähe der Sonne unsichtbar bleiben mußte. Beachtenswert ist hier noch, daß infolge der Neigung der Ekliptik gegen den Äquator der Tierkreis in unseren Wintermonaten um Mitternacht am höchsten über dem Horizonte steht; in den Sommernächten dagegen am niedrigsten.



Die scheinbaren Änderungen des nur mit Präzession behafteten Sternortes von α Orionis infolge der Nutation während der Zeit vom 1. Januar 1884 bis 1. Januar 1904.

Eine der Präzession in der äußeren Erscheinungsweise nahe verwandte Bewegung der Erdachse ist ihre sogenannte **Nutation**. Sie vollzieht sich in der Weise, daß die Bewegung der Erdachse nicht genau, sondern nur im Mittel auf der mehrerwähnten Kegelfläche vor sich geht. Um ihre durch die Präzession bestimmte Mittellage beschreibt die Erdachse im Laufe von ca. 19 Jahren eine kleine Ellipse von 19 und 14 Bogensekunden Durchmesser. Die wirkliche Bewegung der Erdachse geht also in Schleifenform vor sich. Die Lage der Fixsterne zum Äquator, d. h. ihre Rektaszension und Deklination, ist deshalb neben den fortschreitenden, durch die Präzession bewirkten noch periodischen in 19 Jahren wiederkehrenden Änderungen unterworfen (s. die obenstehende Abbildung). Man unterscheidet aus diesem Grunde zwischen dem **mittleren** und dem **scheinbaren** **Ort** eines Fixsternes oder überhaupt eines Himmelskörpers. Der mittlere Ort bezieht sich immer auf eine mittlere Lage des Frühlingspunktes zu Anfang eines gleichzeitig angegebenen Jahres; der scheinbare Ort dagegen ist von dem wirklichen Äquinoktium des Augenblickes gemessen. Dieser scheinbare Ort wird übrigens noch durch andere Einflüsse als die der Präzession und Nutation gegen den mittleren Ort verschoben, die wir erst später in Betracht ziehen können. Abgesehen von etwaigen Eigenbewegungen sind also die Rektaszensionen und Deklinationen der Fixsterne veränderliche Größen, die namentlich in der Nähe der Pole verhältnismäßig sehr stark schwanken können (s. die Abbildung, S. 511). Die astronomischen Jahrbücher geben deshalb auch Ephemeriden der hauptsächlichsten Fundamentalsterne, die ihren jeweiligen wahren Ort angeben.

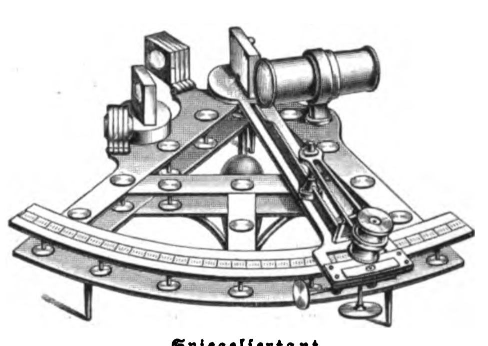
Die mit der Breite wechselnde Stellung und Länge der Tagbogen der Sonne zum Horizont, wie wir sie vorhin betrachtet haben, wird nun zum hauptsächlichsten Orientierungsmittel auf hoher See. Zwar wären Beobachtungen der Sterne prinzipiell ebensogut geeignet, die geographische Lage des Schiffsortes zu ermitteln, wie aus den Betrachtungen des zweiten Kapitels dieses Teiles hervorgeht. Aber auf der See kann man nur mit kleineren, in der freien Hand zu haltenden Instrumenten beobachten, mit denen an sich schon die Auffindung eines bestimmten Sternes auf schwankendem Schiff ein recht schwieriges Ding ist. Da es ferner auf möglichst häufige Kontrolle des Schiffsortes ankommt, so bietet die selbst noch durch leichte Wolken zu beobachtende Sonne erhebliche praktische Vorteile vor den Fixsternen. Zwei über dem Meereshorizont gemessene Höhen der Sonne genügen, um mit Hilfe der Angaben des Schiffschronometers den Ort des Schiffes, also seine geographische Länge und Breite, zu berechnen.



Die scheinbare Bewegung des Ortes von α Virginis während des Jahres 1897, hervorgerufen durch Präzession, Nutation und Aberration. O = mittlerer, • = scheinbarer Ort. Vgl. Text, S. 510.

Die Messung selbst geschieht auf See mit sogenannten Sextanten oder mit Prismenkreisen. Beide Instrumente erlauben durch die lichtablenkende Wirkung von Spiegeln oder Prismen, zu gleicher Zeit das Bild der Sonne und das des Horizontes zu sehen. Sie sind so eingerichtet, daß man durch Bewegung eines Instrumententeiles die Linie des Horizontes gerade mit dem Sonnenrande zur Deckung bringen kann; dann gibt eine auf einem metallenen Kreisabschnitt angebrachte Teilung die Winkelentfernung der beiden Objekte, im vorliegenden Falle also die Höhe der Sonne an. Haben wir nun damit die Mittagshöhe der Sonne gemessen und zugleich notiert, wann dieser Moment des Mittags nach den Angaben des Schiffschronometers

eingetreten ist, so ist damit die Aufgabe, den Schiffsort zu finden, erledigt. Dies mag an folgendem Beispiel erläutert werden. Die am 11. Juli gemessene Mittagshöhe betrug 70 Grad 4 Minuten, und der nach Greenwicher mittlerer Zeit gehende Chronometer zeigte 13 Stunden 54 Minuten 47 Sekunden. Aus den auf jedem Schiffe vorhandenen Ephemeriden ist zu ersehen, daß die Deklination der Sonne um die Mittagszeit an diesem Tage 22° 4′ war; ziehen wir diesen Wert von der gefundenen Sonnenhöhe ab, so erhalten wir die Äquatorhöhe des Schiffsortes gleich 48°; die Polhöhe, als Ergänzung dieses Winkels zu 90°, betrug folglich 42°. Aus denselben astronomischen Ephemeriden ersieht man auch, daß die Zeitgleichung an diesem Tage 5 Minuten 13 Sekunden betrug, in dem Sinne, daß der wahre Mittag um diese Größe vor dem mittleren Mittag stattfindet. Wir addieren also diese Zahl zu dem beobachteten Momente des Mittags, um zu finden, daß dieser um 14 Uhr mittlerer Greenwicher Zeit stattfand, daß mit anderen Worten im Nullmeridian seit dem Mittagsmomente 2 Stunden Zeit vergangen sind zwischen dem Eintritt des Mittags dort und am Schiffsorte; d. h. der Längenunterschied beträgt 2 Stunden oder 30 Grad. Das Schiff befindet sich sonach in 30 Grad westlicher Länge von Greenwich und auf 42 Grad nördlicher Breite.



Spiegelsextant.

So einfach, wie in diesem Beispiel dargestellt, ist die Aufgabe freilich in der Praxis nicht zu lösen. Zunächst wäre es sehr mißlich, den Moment der höchsten Höhe der Sonne für diesen Zweck abwarten zu müssen, und ferner ändert sich zur Zeit der Kulmination die Höhe so langsam, daß eine auch nur einigermaßen genaue Auffassung dieses Zeitpunktes praktisch nicht möglich ist. Der in die sphärische Trigonometrie eingeweihte Leser wird aber unmittelbar verstehen, daß zwei durch ein nicht zu kurzes Zeitintervall getrennte Beobachtungen der Sonnenhöhe immer genügen, um die Lage des Tagbogens der Sonne daraus durch Rechnung zu finden; und diese wieder ergibt sofort die Richtung des Meridians sowie die Mittagssonnenhöhe. Die Betrachtung des sphärischen Dreieckes zwischen Pol, Zenit und Sonnenort führt zu der Formel

$$\sin h = \sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos t,$$

wo h die Sonnenhöhe, φ die gesuchte geographische Breite, δ die immer bekannte Deklination der Sonne und t der zur Zeit der Beobachtung stattfindende Stundenwinkel der Sonne, d. h. ihr gesuchter Abstand vom Meridian ist. Wir haben also in dieser Formel zwei Unbekannte. Für eine zweite beobachtete Sonnenhöhe hat sich zwar der Schiffsort verändert, aber es gibt, wenn nur eine oder zwei Stunden zwischen beiden Beobachtungen liegen, immer Mittel, diese Ortsveränderung durch Kompaß und Log zu ermitteln. Die Unterschiede der beiden Stundenwinkel gibt ferner der Chronometer an. Es ist demnach ersichtlich, daß man aus zwei Sonnenhöhen die beiden gesuchten Unbekannten vermittelst der angegebenen Formel finden kann. Da sich die Sinus kleiner Winkel am schnellsten ändern, so trachtet man, die Sonnenhöhe soviel wie möglich in den frühen Morgen- oder späten Nachmittagsstunden zu messen. Man berechnet dann die Zeit des Schiffsmittags

und kontrolliert zu dieser Zeit die höchste Sonnenhöhe mit dem Sextanten noch einmal, weil sich die Polhöhe allein durch Mittagshöhen besser als auf die vorhin beschriebene Art bestimmen läßt.

In dem Vorangegangenen ist angenommen worden, daß durch die Angaben des Chronometers für jeden gegebenen Augenblick die mittlere Zeit des Nullmeridians bekannt ist. Dieses trifft aber nur zu, wenn die Fehler des Chronometers, wie sie vor Antritt der Reise auf der Sternwarte ermittelt wurden, unverändert geblieben sind, um mit ihrer Hilfe den Uhrstand, etwa gegen Greenwicher Zeit, ermitteln zu können (s. S. 444). Auf der Reise selbst kann man einen solchen Fehler nicht mehr finden, wenigstens so lange nicht, als man auf offener See ist, weil der Uhrfehler sich untrennbar mit der Längenbestimmung vermischt. Hat die Uhr auf der Reise unerwartete Sprünge gemacht, so sind diese immer erst durch die Beobachtung des Zeitballes im nächsten Hafen zu ermitteln, der dort auf einem Turm angebracht zu werden pflegt, um durch sein von der Sternwarte elektrisch ausgelöstes Herabfallen den Schiffern die genaue Zeit des mittleren Mittags zu verkünden.

Während der Fahrt selbst aber ergeben unvorhergesehene Gangänderungen der Uhr unmittelbar Längenfehler. Geht z. B. die Uhr gegen Ende der Fahrt um 10 Sekunden falsch, so würde man sich dadurch im Schiffsort um $10 \times 15 = 150$ Bogensekunden in der Länge irren, was unter dem Äquator also $2\frac{1}{2}$ Seemeilen und in unseren Breiten immer noch mehr als $1\frac{1}{2}$ Seemeilen ausmachen würde. Dies mag ungefähr die Grenze darstellen, bis zu der man unter normalen Umständen über den Schiffsort unsicher sein darf, ohne Gefahr zu laufen. In besonderen Fällen kann aber selbst diese Differenz verhängnisvoll werden. Die angenommenen 10 Sekunden Fehler bedingen bei einer zehntägigen Fahrt eine tägliche Variation des Uhrganges von 1 Sekunde, die bei der heute erreichten Präzision nur selten auftreten wird. Bei den regelmäßigen Fahrten zwischen England und Nordamerika z. B. wird man sich wohl auf den Schiffschronometer verlassen dürfen, namentlich wenn sein Gang durch einen zweiten kontrolliert wird. Da es sehr unwahrscheinlich ist, daß ein plötzlicher Sprung des Uhrganges gleichzeitig von beiden Chronometern ausgeführt wird, so wird man zwar durch die bemerkte Abweichung beider Uhrenangaben nicht wissen können, welcher der beiden Chronometer den Fehler gemacht hat, aber doch in den meisten Fällen durch die Annahme des Mittels zwischen beiden Uhrständen den unbekannten Fehler auf die Hälfte seines Wertes reduzieren. Größere Ansprüche muß man schon an die Chronometer bei längeren Seereisen stellen; dauert z. B. die Reise 40 Tage, so darf die unbekannte Variation des Uhrganges nicht mehr als $1/4$ Sekunde betragen, eine Sicherheit, die auf der Reise selbst nur von den besten Uhren erreicht wird, während sie allerdings bei ihrer Prüfung auf den Sternwarten oft noch größere Genauigkeiten erreichen. Auf der Genfer Sternwarte beobachtet man sogar jährlich eine ganze Anzahl von Taschenuhren, deren tägliche Gangunsicherheit unter 0,2 Sekunden liegt, solange die Uhren unter gleichen Umständen bleiben.

Wir sehen hieraus, wie wichtig die Herstellung von Uhren von allerhöchster Präzision ist. Wie sehr diese von der peinlichsten Vermeidung aller kleinsten Fehlerquellen in der Beobachtung der Zeitbestimmungen, und letztere einerseits von der Herstellung allerfeinster Präzisionsinstrumente, anderseits von all den subtilsten zur Kenntnis genauester Fixsternorte führenden Untersuchungen abhängig ist, davon haben wir an anderer Stelle gesprochen.

In richtiger Erwägung des ungemeinen Wertes gutgehender Uhren für die Längenbestimmung zur See hatte das englische Parlament, das im Jahre 1714 einen Preis von 20,000 Pfund Sterling (400,000 Mark) für die beste Methode, die geographische Länge zur See zu bestimmen, ausgesetzt hatte, diesen Preis dem Uhrmacher Harrison zuerkannt, weil er einen Chronometer geliefert hatte, der die festgesetzten Grenzen der Unsicherheit innehielt. Dies war gewiß die höchste Summe, die jemals ein Uhrmacher für sein Werk erhalten hat.

Es gibt zwar Methoden, nach denen man die geographische Länge auch unabhängig von dem Uhrfehler auf Reisen bestimmen kann, aber sie haben immer noch nicht eine Sicherheit erreicht, die sich unter normalen Umständen mit der des Chronometerganges vergleichen könnte, und werden sie auch aller Wahrscheinlichkeit nach niemals erreichen. Immerhin sind diese Methoden außerordentlich wertvoll und können den Seefahrer aus den bedenklichsten Lagen retten, wenn seine Uhr einmal durch irgendeinen unglücklichen Umstand stehen geblieben ist; er ist alsdann ohne jede Kenntnis der Ortszeit des Nullmeridians, und die beschriebene Beobachtungsart könnte ihm keinerlei Aufschluß über den Ort seines Schiffes geben, bis er, aufs Geratewohl weitersegelnd, ein bekanntes Landgebiet erreicht hätte. Es treten nämlich Ereignisse am Himmel ein, deren Gesetzlichkeit so genau erforscht ist, daß man sie bis auf wenige Sekunden vorausberechnen kann. Zu diesen gehören in erster Reihe die Verfinsterungen der Himmelskörper. Diejenigen von Sonne und Mond zwar, mit denen wir uns im nächsten Kapitel zu beschäftigen haben werden, finden zu selten statt, als daß sie in so außergewöhnlichen Fällen Nutzen bringen könnten; aber die vier größeren Jupitermonde bieten hier eine recht günstige Gelegenheit, da sie, wenn Jupiter nicht zu nahe bei der Sonne steht, mit jedem Handfernrohre bequem beobachtet werden können. Dabei findet fast jede Nacht eine solche Verfinsterung statt. Der Seemann ersieht aus seinem Jahrbuche den Augenblick aller dieser Verfinsterungen, in Greenwicher mittlerer Zeit vorausberechnet. Beobachtet er nun den Moment des Eintrittes eines solchen Ereignisses nach seinem falsch gehenden Chronometer, so gibt ihm die Differenz seiner Beobachtungszeit mit der im Jahrbuch angegebenen sofort den Fehler seiner Uhr an, wofern ihm die Längendifferenz gegen Greenwich bekannt ist. Hat er anderseits die Abweichung des Standes seiner Uhr von der wirklich stattfindenden Zeit des Schiffsortes, etwa durch Messung der Sonnenhöhen, ermittelt, so findet er unmittelbar den Längenunterschied gegen Greenwich. Leider tritt aber der Moment der Verfinsterung nicht plötzlich ein, so daß man um mehrere Sekunden darüber unsicher bleibt. Gleichzeitig leidet hierunter auch die scharfe Vorausberechnung, so daß, wie schon vorausgeschickt, hierdurch der Uhrstand jedenfalls nicht so genau bestimmt werden kann, wie es in der Regel durch einfache Weiterrechnung mit dem bekannten Uhrgang heute möglich ist.

Ganz ähnlich steht es mit der Methode der sogenannten Monddistanzen. In den Jahrbüchern ist die Winkelentfernung des Mondes von der Sonne oder von hellen Sternen zu bestimmten Zeiten des Nullmeridians vorausberechnet. Hat man nun die gleiche Entfernung mit dem Sextanten wirklich gemessen, so kennt man dadurch auch zugleich die zugehörige Zeit des Anfangsmeridians. In diesem Falle ist zwar die Vorausberechnung mit aller Schärfe möglich, aber die Beobachtung ist schwierig, und ein Messungsfehler in dem betreffenden Winkel geht mit großem Faktor in die recht langwierige Berechnung der gesuchten Längendifferenz ein. Zur See ist deshalb diese Methode kaum

anwendbar, doch wird sie häufiger von Forschungsreisenden benutzt, die, auf festem Boden stehend, auf größere Sicherheit bei der Beobachtung rechnen und letztere öfters wiederholen können, während die Berechnung erst nach ihrer Rückkehr zu geschehen braucht.

In jüngerer Zeit sind für diese Zwecke ganz neue Methoden vorgeschlagen worden, die auf der Anwendung der Photographie beruhen. Man kann etwa eine Aufnahme des Mondes mit dem Sterne machen und die Distanz dann nachträglich auf der Platte ausmessen. Momentaufnahmen sind in diesem Fall zwar nicht möglich, Mond und Stern werden also während der Expositionszeit dunkle Streifen über die Platte ziehen. Hat man indes Sorge getragen, daß der Apparat dabei ganz horizontal stand, so geben gerade diese Streifen ein Bild der Lage der Tagbogen der Gestirne, so daß man bei ihrer geschickten Benutzung Ortszeit und Polhöhe neben der Zeit des Anfangsmeridians aus einer solchen photographischen Monddistanz ablesen kann. Man braucht also strenggenommen gar keine Uhr zu einer solchen photographischen Ortsbestimmung. Diese photogrammetrischen Methoden sind in neuerer Zeit in sehr wertvoller Weise ausgebildet worden und liefern namentlich bei geodätischen Aufnahmen in gebirgigen Gegenden die vorzüglichsten Resultate in viel kürzerer Zeit, als es bisher geschehen konnte.

---

4. Die scheinbaren Bewegungen des Mondes. Die Parallaxe.

Am Himmel ist ohne weiteres zu sehen, daß die Stellung des Mondes zur Sonne periodisch wechselt, daß also die Bewegung des Mondes am Himmelsgewölbe eine andere sein muß als die soeben betrachtete der Sonne. Wir beobachten allmonatlich, daß die nach dem Neumond zuerst wiedererscheinende Sichel am Abendhimmel noch nach Sonnenuntergang sichtbar ist, der Mond also in seiner täglichen Bewegung der Sonne folgt. Er geht deshalb auch später durch den Meridian als die Sonne; seine Rektaszension ist größer und nimmt mit vorschreitendem Mondalter immer weiter zu, da er sich immer weiter von der Sonne entfernt, bis zur Vollmondszeit beide Gestirne einander gegenüberstehen und der Mond um Mitternacht kulminiert, d. h. eine um 12 Stunden größere Rektaszension hat als die Sonne. Die Rektaszension nimmt weiter täglich rund 50 Minuten zu, bis Sonne und Mond wieder die gleiche äquatoriale Länge haben und gleichzeitig durch den Meridian gehen, also wieder Neumond eingetreten ist. Zwischen zwei so definierten Eintritten des Neumondes verfließen im Mittel 29 Tage 12 Stunden 44 Minuten 2,7 Sekunden; man nennt diese Zeit den synodischen Monat, die Zeiten der Eintritte von Neu- und Vollmond die Syzygien.

Dieser Zeitabschnitt, der ziemlich leicht und ohne astronomische Hilfsmittel durch die Wiedereintritte der Neumonde im Laufe der Jahrzehnte und Jahrhunderte zu beobachten ist und sich gelegentlich durch das Ereignis einer Sonnenfinsternis noch besonders dem Völkergedächtnis einprägt, war schon seit den ältesten Zeiten recht genau bekannt. Ptolemäus gibt in seinem Almagest den synodischen Monat nur um 0,4 Sekunde zu groß an. Da wir nun die mittlere Bewegung der Sonne, sei es in bezug auf den Frühlingspunkt oder auf einen festen Punkt des Himmelsgewölbes, bereits kennen, so ist es ein Leichtes, aus der Länge des synodischen Monats die des tropischen und des siderischen

zu berechnen: letztere beträgt 27 Tage 7 Stunden 43 Minuten 11,5 Sekunden, während die tropische Umlaufszeit nur 6,9 Sekunden kürzer ist.

Die völlige Übereinstimmung der Periode des Phasenwechsels mit der syno-



Tropenlandschaft mit wagerecht stehender Mondsichel. Vgl. Text, S. 517.

dischen Umlaufszeit des Mondes liefert den unmittelbaren Beweis, daß die Sonne die Ursache dieses Phasenwechsels ist. Die hierbei hervortretenden Eigentümlichkeiten sind so allgemein bekannt, daß wir darauf nur andeutungsweise zurückzukommen brauchen. Wir

wissen, daß die zuerst wiedererscheinende Mondsichel sich für unsere Hemisphäre links von der Sonne befindet, und da der beleuchtete Teil des Mondes immer der Sonne zugewandt sein muß, so hat der zunehmende Mond jene Form, für welche die mnemotechnische Regel anwendbar ist, daß die Sichelbegrenzung des zunehmenden Mondes (☽) den Anfangszug eines 𝔷 in deutscher Schreibschrift, die des abnehmenden Mondes (☾) dagegen, der sich rechts von der Sonne befindet, den eines 𝔄 in deutscher Schreibschrift darstellt. Wir würden dies kaum anführen, wenn nicht Reisende, welche die Südhälfte unserer Erde besuchen, sich oft sehr darüber wunderten, daß sich diese Verhältnisse dort gerade umkehren; es wird aber diese Erscheinung sofort begreiflich, wenn man sich erinnert, daß die Tagbogen zum Horizont eine immer senkrechtere Lage einnehmen, je mehr man sich dem Äquator nähert, und schließlich bei Überschreitung des Äquators sich nach der entgegengesetzten Seite neigen. Die Bahn des Mondes ist aber, wie wir noch näher sehen werden, gegen die der Sonne nicht wesentlich geneigt. Am Äquator befindet sich der Mond nicht mehr rechts oder links von der Sonne, sondern über oder unter ihr, da die Tagbogen hier senkrecht aufsteigen. Seine Sichel muß also im ersten Viertel, um der untergegangenen Sonne ihre konvexe Seite zuzuwenden, diese zugleich auch gegen den Horizont kehren; sie sieht dort wie ein leuchtender Nachen aus (◡) (s. Abbildung, S. 516). Ebenso steigt der Mond im letzten Viertel morgens vor der Sonne über den Horizont empor, ein eigentümlich reizvoller Anblick, der unseren Breiten fremd ist. Gehen wir weiter nach Süden über den Äquator hinweg, so dreht sich die Mondsichel noch weiter herum, weil die Sonne nun im Norden kulminiert. Der Mond befindet sich dann im ersten Viertel rechts von der Sonne, er zeigt also die Form wie unser abnehmender Mond (☾). Im umkehrenden Fernrohre liegen natürlich auch alle diese Verhältnisse umgekehrt. Die Mondphasen sind in demselben für die nördliche Halbkugel so begrenzt, wie es die beiden Kopien schöner Photogramme der Lick-Sternwarte auf Seite 518 und 519 zeigen.

Verfolgen wir nun auch die Breitenänderungen des Mondes, indem wir mit dem Meridiankreise seine Kulminationshöhen bestimmen, so zeigt es sich, daß seine mittlere Bewegung am Himmel in einem Kreise vor sich geht, der gegen die Sonnenbahn um 5° 8′ 40″ geneigt ist. Diese Zahl gilt für den Jahresanfang 1800,0 und ist kleinen Schwankungen unterworfen. Der Mond kann also zu gewissen Zeiten um 5 Grad über dem Durchschnittspunkte der Ekliptik mit dem Meridian kulminieren; er nähert sich dann mehr und mehr der Ekliptik, durchschneidet sie nach einer Woche, steht nach 14 Tagen 5 Grad unter der Ekliptik, nach 3 Wochen wieder in ihr und so fort.

Aus der nahezu unveränderlichen Lage der Gebilde der Mondoberfläche zum Rande der Scheibe folgerten wir bereits früher (s. S. 71), daß der Begleiter der Erde der letzteren stets dieselbe Seite zukehrt. Diese Tatsache findet darin ihre Erklärung, daß der Mond in der nämlichen Zeit, die er braucht, um die Erde zu umkreisen, auch seine Rotation vollführt. Die Rotationsachse steht überdies nahezu senkrecht zur Ebene der Mondbahn, derart, daß der Äquator des Mondes nur unter einem Winkel von rund $3^1/_2{}^\circ$ gegen sie geneigt ist.

Die Durchschnittspunkte der Mondbahn mit der Ekliptik nennt man die Knotenpunkte, und zwar den, bei welchem der Mond von der südlichen auf die nördliche Halbkugel übergeht, den aufsteigenden, den gegenüberliegenden den niedersteigenden Knoten. Die Linie, die man zwischen beiden Punkten sich gezogen denken kann,

heißt die Knotenlinie. Die Knotenpunkte haben eine ganz besondere Bedeutung, da nur in ihnen die beiden größten Himmelslichter zusammentreffen oder einander so genau gegenüberstehen können, daß Verfinsterungen eintreten. Es ist möglich, daß mit dem uralten Aberglauben, diese Verfinsterungen geschähen durch einen riesigen Drachen, die Bezeichnung dieser Punkte als Drachenpunkte zusammenhängt, und daß man die Zeit, die zwischen zwei aufeinander folgenden Eintritten des Mondes in einen dieser Punkte verläuft, einen Drachenmonat nennt. Derselbe ist wiederum von den drei vorhin angeführten Monaten verschieden, da die Knotenlinie der Mondbahn eine analoge Bewegung hat, wie die der Sonnenbahn, die wir als Präzession kennen gelernt haben. Die Knotenpunkte der Mondbahn bewegen sich aber weit schneller auf der Ekliptik, so daß sie nach ungefähr 19 Jahren schon einen vollen Umlauf vollendet haben. Diese Zeit stimmt mit der Periode überein, innerhalb deren die Erdachse jene kleinen periodischen Schwankungen ausführt, die wir als Nutation bezeichneten. Den inneren Zusammenhang zwischen beiden Erscheinungen werden wir später kennen lernen. Ein Drachenmonat hat 27 Tage 5 Stunden 5 Minuten 39 Sekunden.



Bild des zunehmenden Mondes im umkehrenden Fernrohr. Alter des Mondes 5 Tage 20 Stunden. Nach einer photographischen Aufnahme auf der Lick-Sternwarte vom 23. Januar 1893. Vgl. Text, S. 517.

Wie bei der Sonne bemerkt man auch beim Monde, daß seine Geschwindigkeit in der einen Hälfte seines Umlaufs um den Himmel größer ist als in der anderen, und daß sein Durchmesser sich gleichzeitig in entsprechender Weise ändert. Der Mond hat also gleichfalls ein Perigäum und ein Apogäum. Ferner hat die zwischen beiden gedachte Apsidenlinie wie bei der Sonne eine Bewegung: zu Anfang des vorigen Jahrhunderts (1800,0) war die Länge des Mondperigäums, d. h. der Winkelabstand

des Punktes, in dem der Mond uns am nächsten stand, vom Frühlingspunkt, auf der Ekliptik gezählt, gleich 225° 23′ 53,1″. Aber diese Richtung macht bereits in 8,8508 Jahren einen ganzen Umlauf um den Himmel; die Rückkehr des Mondes in seine Erdnähe vollzieht sich deshalb immer erst 5 Stunden 35 Minuten 22 Sekunden später, als er zu demselben Stern zurückkehrt (siderische Umlaufszeit). Der dadurch bedingte anomalistische Monat beträgt demnach 27 Tage 13 Stunden 18 Minuten 33 Sekunden. Infolge des innerhalb dieser Zeit wiederkehrenden Wechsels der Mondbewegung kann der Ort unseres Trabanten um mehr als 6° gegen denjenigen vorauseilen oder nachbleiben, den er bei gleichmäßiger Bewegung um den Himmel einnehmen würde. Die Erscheinung entspricht im Wesen jener, die wir bei der Sonne als Zeitgleichung kennen lernten.

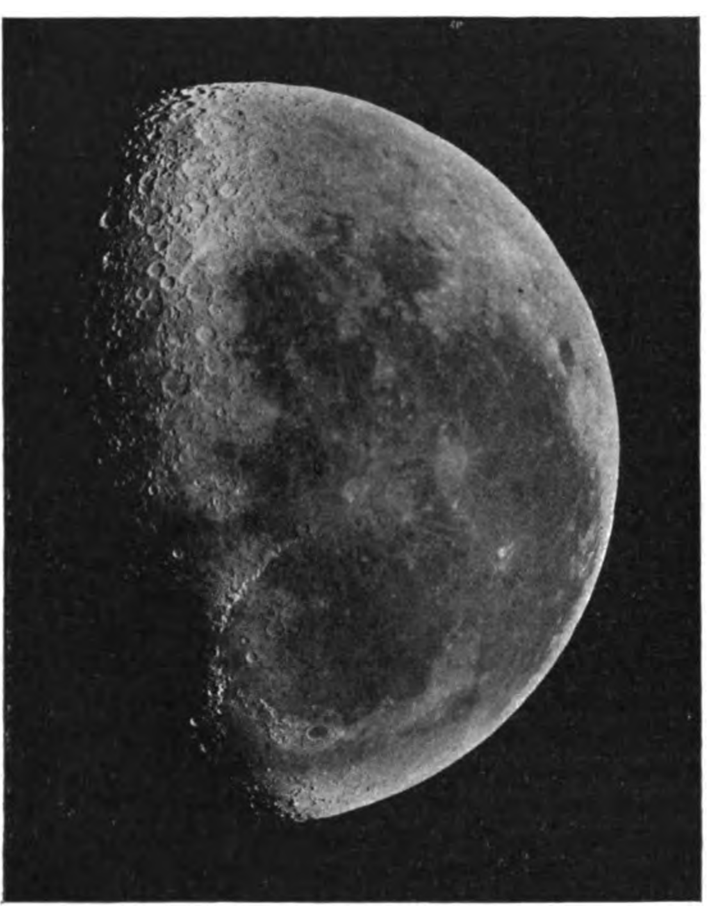


Bild des abnehmenden Mondes im umkehrenden Fernrohr. Alter des Mondes 20 Tage 20 Stunden. Nach einer photographischen Aufnahme auf der Lick-Sternwarte vom 2. August 1893. Vgl. Text, S. 517.

Alle bisher angeführten Bewegungserscheinungen teilt der Mond der Art nach mit der Sonne, und nur die Geschwindigkeit ist bei ihm überall eine größere. Es treten indessen noch eine Anzahl Eigentümlichkeiten der Mondbewegung auf, die sich von der gegenseitigen Stellung des Mondes zur Sonne abhängig erweisen. Zunächst erkannte man schon sehr früh, daß die Ungleichheit vom Perigäum zum Apogäum, auch die Gleichung der Bahn genannt, größer wird, je näher die Richtungen, in der beide eintreten, mit der Richtung zur Sonne hin zusammenfallen, d. h. je genauer Erdnähe oder Erdferne des Mondes mit dem Neu- oder Vollmond gleichzeitig eintreten. Die Gleichung der Bahn zeigt sich am größten, wenn die Apsidenlinie mit den Syzygien zusammenfällt, am kleinsten dagegen in den Quadraturen; der Unterschied mit der mittleren Bahngleichung steigt auf 1° 15′ und wird die Evektion genannt. Zur Zeit des Neumondes, wenn also, wie die Finsternisse ohne weiteres lehren, der Mond

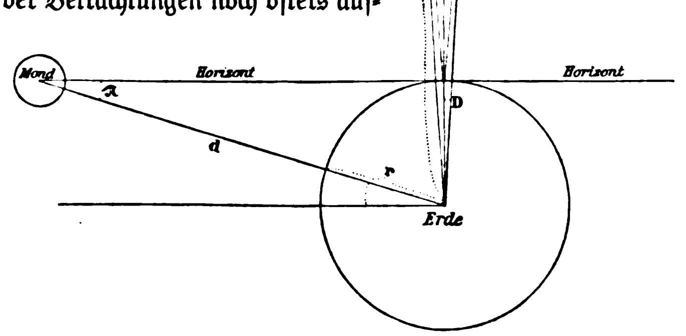
sich zwischen Erde und Sonne, also der letzteren näher befindet als in der entgegengesetzten Stellung bei Vollmond, bewegt sich unser Trabant besonders schnell vor der Sonne vorbei, und diese Bewegung wird noch vergrößert, wenn er zugleich besonders nahe bei der Erde steht.

Eine zweite Ungleichheit tritt in Gebieten der Mondbahn ein, die mitten zwischen den Syzygien und Quadraturen liegt. Sie kann bis auf 39′ ansteigen und wird die Variation genannt. Eine dritte, 11′ im Maximum betragende Ungleichheit wiederholt sich im Laufe eines Jahres und heißt deshalb die jährliche Gleichung. Sie zeigt deutlich, daß die Geschwindigkeit der Mondbewegung auch noch von der größeren oder geringeren Entfernung der Sonne von der Erde abhängig ist. Zu allen diesen treten überdies eine große Menge kleinerer Ungleichheiten. Ihre Gesamtheit macht die rechnerische Beherrschung der Mondbewegung zu einer der schwierigsten Aufgaben der theoretischen Astronomie.

Alle diese Bewegungserscheinungen erweisen sich für jeden Ort der Erdoberfläche übereinstimmend. Dagegen zeigen sich andere Eigentümlichkeiten, die von der jeweiligen Höhe des Mondes über dem Horizonte des Beobachters abhängen, den Himmelskörper also zu gleicher Zeit von verschiedenen Punkten der Erde aus an verschiedenen Punkten des Himmelsgewölbes erscheinen lassen. Diese Verschiebung oder Parallaxe des Mondortes wirkt offenbar in ganz ähnlicher Weise wie die atmosphärische Refraktion: sie hat ihr Maximum im Horizont selbst und verschwindet im Zenit. Nur ist ihr Vorzeichen ein umgekehrtes wie bei der Refraktion. Letztere hebt die Gestirne scheinbar, die Parallaxe läßt hingegen den Mond um so tiefer erscheinen, je näher er dem Horizont ist. Außerdem ist die Größe der Parallaxe für jedes Gestirn individuell, und zwar beim Monde weitaus die beträchtlichste, bei der Sonne und bei den Planeten viel kleiner und bei den Fixsternen überhaupt nicht vorhanden. Gleichzeitig beeinflußt die Parallaxe den scheinbaren Durchmesser des Mondes. Wenn dieser im Horizonte steht, ist er, dem oft bemerkten Scheineffekte ganz entgegen, zufolge exakter Messungen am kleinsten. Er wächst beständig mit zunehmender Höhe und hat sein Maximum im Zenit. Der Unterschied zwischen dem Monddurchmesser im Horizont und im Zenit beträgt etwa ein Sechzigstel seines Wertes. Da nun der mittlere Durchmesser gleich 31′ 8″ ist, so macht seine parallaktische Veränderung wegen der täglichen Bewegung im Maximum etwas mehr als $^1/_2$ Bogenminute aus, die mit unseren modernen Meßwerkzeugen sehr leicht zu finden ist. Sehr viel größer zeigt sich dagegen die parallaktische Verschiebung des Mondortes selbst. Sie erreicht im Horizont eines auf dem Erdäquator gelegenen Beobachtungsortes im Mittel 57′ 2,3″. Unter anderen Breitengraden erweist sich der Mittelwert dieser Horizontalparallaxe in demselben Verhältnis kleiner, als infolge der Abplattung der Erde die Entfernung des Beobachtungsortes vom Mittelpunkt des Erdkörpers kleiner wird. Am Pol ist demnach dieser Wert etwa 11 Bogensekunden geringer als am Äquator.

Diese Abhängigkeit der parallaktischen Verschiebung vom Standorte des Beobachters auf der Erde läßt keinen Zweifel darüber, daß die relativ große Nähe des Mondes und die dadurch erzeugte perspektivische Verschiebung gegenüber den sehr viel weiter entfernten Sternen die ausschließliche Ursache der Erscheinung sind. Befindet sich der Mond im Zenit, so geht die Verbindungslinie zwischen dem Mond und dem Beobachter in ihrer Verlängerung durch den Mittelpunkt der Erde; eine perspektivische Verschiebung kann also nicht stattfinden. Dagegen befinden wir uns dann um einen Erdhalbmesser dem Monde

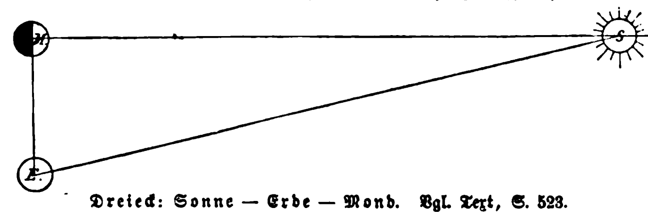
näher, als wenn wir im Erdmittelpunkte ständen. Anders verhält es sich aber, wenn der Mond im Horizonte steht (s. die untenstehende Zeichnung). Seine Entfernung von uns ist dann ebenso oder doch fast ebenso groß wie die vom Mittelpunkt der Erde; dagegen bildet die Verbindungslinie zwischen Mond- und Erdzentrum mit der Richtung nach dem Zenit des Beobachtungsortes einen Winkel, der um die Größe der Parallaxe kleiner ist als 90 Grad. Wir sehen unmittelbar, daß die Parallaxe einerseits vom Erddurchmesser, anderseits von der Entfernung des Mondes, bezw. allgemein eines Himmelskörpers von uns abhängt. Bezeichnen wir mit π diesen parallaktischen Winkel und mit d die Entfernung des Mondes vom Erdmittelpunkte, mit r den Erdhalbmesser, so haben wir die einfache Gleichung: $r = d \tang \pi$. Setzen wir nun r zunächst gleich 1, so ergibt der gefundene Wert der Horizontalparallaxe durch ein einfaches Aufschlagen der trigonometrischen Tafel, daß der Mond 60,28 äquatoriale Erdhalbmesser von uns entfernt ist.



Wirkung der Parallaxe beim Mond.

Da wir nun weiter aus den Gradmessungsarbeiten wissen, daß der Erdhalbmesser 6377 km hält, so erhalten wir die **Entfernung** des Mondes durch Multiplikation der beiden letztgenannten Zahlen gleich 384,400 km. Wir sehen hier zum ersten Male, was uns im Verlaufe der Betrachtungen noch öfters auffallen wird, daß man immer viel leichter und sicherer relative Werte für eine astronomische Größe zu finden vermag als absolute. Die Verhältniszahl zwischen der Mondentfernung und dem Erddurchmesser ist durch verhältnismäßig wenige Beobachtungen, die an einem und demselben Punkte der Erdoberfläche durch die parallaktische Verschiebung des Mondes während seines Laufes vom Horizonte zum Meridian angestellt wurden, zu ermitteln. Will man hieraus aber die Kilometerzahl dieser Entfernung auch nur annähernd genau ableiten, so sind alle die umständlichen und langwierigen Arbeiten nötig, die wir als Gradmessung früher kennen gelernt haben. Natürlich handelt es sich hier um die Ermittelung der betreffenden Größe in Konventionsmetern; denn nach der ursprünglichen Definition des Meters als zehnmillionsten Teil des Erdquadranten brauchen wir keinerlei absolute Messungen mehr, um die durch parallaktische Messungen gefundenen himmlischen Entfernungen sofort in Kilometer umzusetzen, nur wissen wir leider in diesem Falle nicht mit aller Genauigkeit, wie groß ein Kilometer ist. Wegen dieser Unsicherheit der wahren Größe eines Meters, verglichen mit dem Durchmesser der Erde, vermeiden es die Astronomen gern, die gefundenen Entfernungen in Kilometern, Meilen u. s. w. anzugeben, weil dadurch eine neue Unsicherheit in die Angaben getragen wird, sondern bleiben lieber bei den relativen Angaben stehen, die unmittelbare Messungsresultate sind.

Die Parallaxenmessungen des Mondes geschehen begreiflicherweise in der Praxis nicht im Horizonte selbst, den wir hier nur als den einfachsten Fall für die Darstellung herausgegriffen haben. Man wählt vielmehr zwei möglichst unter gleichem Meridian, aber dabei recht weit voneinander entfernt liegende Sternwarten aus, etwa die Sternwarte auf dem Kap der Guten Hoffnung und die in Berlin. Erstere liegt nur etwa 20 Minuten östlicher als letztere, dagegen haben sie einen Breitenunterschied von nahezu $86^1/_2$ Grad. Die durch den Erdkörper gezogene gerade Verbindungslinie zwischen den beiden Sternwarten, deren Länge aus den Gradmessungsarbeiten mit möglichster Genauigkeit abzuleiten ist, dient dann gewissermaßen als Basis zu einer trigonometrischen Vermessung, die weit über den Erdkörper hinausreicht, aber trotzdem theoretisch mit genau derselben Schärfe ausführbar ist wie auf der Erde selbst. Allerdings zeigt diese Theorie gleichzeitig, daß die Resultate um so unsicherer werden, je kleiner der Winkel ist, der sich an der unerreichbaren Spitze des Riesendreiecks, im vorligenden Falle im Mittelpunkte des Mondes, befindet. Bei den Triangulationsarbeiten auf der Erde würde man einen Dreieckswinkel von weniger als einem Grad, also von der Größe der Parallaxe des Mondes, unter keinen Umständen mehr zulassen; bei den himmlischen Vermessungen aber haben wir leider keine Wahl.


Dreieck: Sonne — Erde — Mond. Vgl. Text, S. 523.

Für alle anderen Himmelskörper zeigt sich die Parallaxe noch wesentlich kleiner; die der Sonne beträgt z. B. nur noch 8,80 Sekunden. Welche umfangreichen und äußerst subtilen Arbeiten nötig gewesen sind, einen so kleinen Winkel bis auf den hundertsten Teil einer Sekunde zu bestimmen, werden wir später erfahren.

Aus dem jeweiligen scheinbaren Durchmesser des Mondes und seiner zugehörigen Parallaxe können wir auch sofort den wahren Durchmesser des Mondes, zunächst in Teilen des Erddurchmessers und folglich auch, mit Anwendung der Resultate der Gradmessungen, in Kilometern finden. Nehmen wir dieselbe Zeichnung zur Hand, die uns zu der Relation für die Parallaxe, $r = d \,\mathrm{tang}\, \pi$, führte (s. S. 521), und nennen darin den wahren Halbmesser des Mondes r′, seinen vom Erdmittelpunkte aus gemessenen Winkelhalbmesser aber D, so erhalten wir hier die Gleichung $\mathrm{tang}\, D = \frac{r'}{d}$ oder $r' = d \,\mathrm{tang}\, D$. Verbinden wir beide Gleichungen, so ist, da $d = \frac{r}{\mathrm{tang}\,\pi} = \frac{r}{\mathrm{tang}\,D/}$, $\frac{r'}{r} = \frac{\mathrm{tang}\,D}{\mathrm{tang}\,\pi}$ oder, da es sich hier stets um sehr kleine Winkel handelt, bei denen ihre trigonometrischen Funktionen den Winkeln selbst proportional bleiben, einfach: $\frac{r'}{r} = \frac{D}{\pi}$. Das heißt: der wahre Halbmesser eines Himmelskörpers verhält sich zu dem der Erde wie sein gemessener Winkelhalbmesser zu seiner Parallaxe. Für den Mond erhalten wir aus dieser Formel seinen Durchmesser gleich 0,273 von dem der Erde oder gleich 3480 km.

Daß man schon frühzeitig versucht hat, über die Entfernung der Gestirne von uns etwas zu erfahren, ist begreiflich. Der erste, der diesem Problem durch geometrische Betrachtungen näher trat, war der scharfsinnige Aristarch, dessen aufgeklärte Ansichten über den Bau des Weltgebäudes wir noch zu bewundern Gelegenheit haben werden. Er stellte die richtige Erwägung an, daß im Augenblick des Eintrittes des ersten oder letzten Mondviertels, wenn der Trabant also genau halbiert erscheint und die Lichtgrenze eine

gerade Linie bildet, der Winkel zwischen den Verbindungslinien Mond — Sonne und Mond — Erde im Mondmittelpunkte genau ein rechter sein müßte. Denkt man sich zwischen den drei Himmelskörpern ein Dreieck konstruiert (s. die Figur, S. 522), so sind alle seine Winkel bekannt, wenn man den am Erdorte zwischen Sonne und Mond befindlichen Winkel mißt. Aus der Kenntnis der Winkel eines Dreiecks aber kann man die relative Länge seiner Seiten sofort berechnen, indem man eine von ihnen gleich eins setzt. Man findet in diesem Falle also das Verhältnis der Entfernung der Sonne zu der des Mondes. Aristarch versuchte nun den Winkel zwischen Sonne und Mond zur Zeit des ersten Viertels zu messen. Er fand ihn gleich 87° und folgerte daraus, daß die Sonne 18—20mal weiter von uns entfernt sein müsse als der Mond. Freilich war dieser Wert falsch, weil der Winkel nicht 87°, sondern etwa 89° 50′ beträgt, wodurch das Verhältnis beider Entfernungen gleich 1:344 wird. Wiederum haben wir hier ein Beispiel dafür, wie man durch bloße Winkelmessung die Verhältnisse von Größen genau zu ermitteln vermag, die man selbst nicht kennt.

Neuere Bestimmungen der Entfernungen der Himmelskörper werden wir später kennen lernen.

---

5. Der Kalender.

Ebenso wie es beim geselligen Zusammenleben der Menschheit und für den Zusammenschluß ihrer einzelnen Glieder zu gemeinsamer Arbeit sehr früh nötig geworden war, die Zeit vom Aufgang zum Untergang der Sonne in besondere Teile zu zerlegen, so mußte man auch bald in irgendeiner systematischen Weise die Tage selbst aneinander reihen, um dadurch etwa den Zeitpunkt von gewissen im Lande zu feiernden Festen, zu denen die Bevölkerung in den Hauptorten sich versammeln wollte, im voraus festlegen zu können. Zu solcher allgemeiner Verkündung durch ein ganzes Land gab es kein sichereres und auffälligeres Mittel als die wechselnde Gestalt des Mondes, die namentlich in den südlichen Erdstrichen, wo die Anfänge der Kultur sich entwickelten, allnächtlich von jedermann beobachtet werden konnte. Der Mond war es deshalb, der in den Uranfängen der Zeitrechnung aller Völker der ausschließliche Regler des Kalenders war und es heute noch bei den Mohammedanern geblieben ist. Der synodische Monat wurde also zur nächst höheren Zeiteinheit nach dem Tage. Anfänglich bestimmte man den Beginn des Monats durch jedesmalige direkte Beobachtung des Wiedererscheinens der Sichel; man sah bald, daß dieses ziemlich regelmäßig abwechselnd in 29 und 30 Tagen erfolgte, da eben der synodische Monat nur um 44 Minuten größer ist als 29½ Tage. Die Monate erhielten so ganz von selbst ihre wechselnde Länge. Allerdings kam man zuweilen durch schlechtes Wetter in Verlegenheit, ob ein bestimmter Tag der letzte des einen oder der erste des folgenden Monates war. Deshalb wurde schließlich durch Vermittelung der Priesterschaft der jedesmalige Monatsanfang bestimmt und öffentlich ausgerufen. Von „calare", ausrufen, wurde der erste Tag bei den Römern calendae genannt; daher unsere Bezeichnung K a l e n d e r. Noch heute geschieht dieses Ausrufen bei den Mohammedanern, deren Monate wie die der Juden immer genau einen Tag nach Neumond beginnen. Die vier Mondviertel, die ungefähr nach je sieben Tagen einander folgen,

mögen maßgebend für die Bildung des Zeitabschnittes einer Woche gewesen sein. Die Unsicherheit indessen, die im Bereich eines ausgedehnten Landes über den Monatsanfang blieb, solange keine unumstößlichen Regeln, sondern die direkte Beobachtung des Himmels dafür maßgebend war, hat dann zu der Übung geführt, daß die großen Feste immer während zweier Tage gefeiert wurden, damit die von fern Herkommenden wenigstens einen der Festtage noch mitmachen konnten.

Die ackerbautreibenden Völker, in erster Linie die Ägypter, empfanden aber bald die Notwendigkeit, einen Kalender zu schaffen, der mehr mit der Sonne als mit dem Mond übereinstimmte, da sich ihre Feldarbeiten ausschließlich nach dem Sonnenstand zu richten hatten. Man versuchte deshalb eine Anzahl von Monaten zu einem Jahr zu gruppieren, d. h. eine abermals größere Zeiteinheit zu schaffen. Daß eine solche Jahreseinteilung in unserem Sinne in den ältesten Zeiten nicht existiert hat, sondern eben der Monat als solche galt, geht unter anderem auch aus den biblischen Angaben über das ungemein hohe Alter vieler Patriarchen von neunhundert und mehr Jahren hervor; wir haben hier höchstwahrscheinlich das Wort Jahr mit Monat zu vertauschen.

Dieser Aufgabe, einmal das wahre Sonnenjahr mit dem Sonnentag und dann wieder mit dem Mondumlauf zu messen, stellten sich aber bedeutende Schwierigkeiten entgegen, weil die drei in Betracht kommenden Perioden Tag, Monat, Jahr durch Verhältnisse von ganzen Zahlen nicht in Einklang zu bringen sind. Im frühen Griechentum begnügte man sich damit, 12 Monate von abwechselnd 29 und 30 Tagen zu einem Jahr von mithin 354 Tagen miteinander zu vereinigen. Die Türken haben diesen einfachen Kalender bis heute beibehalten; sie haben nur noch ein Schaltjahr von 355 Tagen eingefügt, um mit dem Mondlauf besser in Einklang zu bleiben. Man nannte die Monate mit 30 Tagen volle, die mit 29 Tagen leere. Rechnet man das Sonnenjahr vorläufig rund zu 365 Tagen, so blieb man also jedes Jahr um 11 Tage gegen den Sonnenstand zurück. Um diesem Übelstande abzuhelfen, ordnete wahrscheinlich im Jahre 594 v. Chr. Solon an, daß jedes zweite Jahr ein voller 13. Monat einzuschalten sei. Dadurch erhielt das Jahr durchschnittlich 369 Tage, war also nur um 4 anstatt, wie vordem, um 11 Tage falsch, und der Durchschnittsmonat betrug 29,52 Tage, war also bis auf eine Viertelstunde richtig.

Jener Fehler von 4 Tagen mußte indes bald empfindlich auffallen. Es wurde deshalb ein 433 v. Chr. von dem athenischen Astronomen Meton vorgeschlagener Zyklus allgemein angenommen, der in der Tat den Bewegungen von Sonne und Mond, soweit sie damals bekannt waren, in denkbar bester Weise Rechnung trug. Der Metonsche Zyklus, der auch heute noch eine gewisse Rolle spielt, umfaßt 19 Sonnenjahre, innerhalb deren die Monate für gewöhnlich mit 29 und 30 Tagen abwechselten, aber im 3., 5., 8., 11., 13., 16., 19. Jahre je ein Schaltmonat hinzukam und außerdem in gewissen Intervallen zwei volle Monate mit 30 Tagen einander folgten. Danach umfaßte der Metonsche Zyklus 234 Monate oder 6940 Tage. Der Durchschnittsmonat war mithin gleich 29,532 Tagen oder nur 2 Minuten größer, als er sein müßte; das Jahr gleich 365,263 Tagen, also um eine halbe Stunde zu lang.

Im großen und ganzen folgen die Juden heute noch diesem Metonschen Zyklus. Durch weitere Einschaltungen ist der mittlere Monat der Juden nur um eine halbe Sekunde von der wirklichen synodischen Umlaufszeit des Mondes verschieden. Die übrigen, sehr verwickelten Einrichtungen des jüdischen Kalenders, die nur ritualen Zwecken

dienen, können uns hier nicht weiter interessieren; bemerkenswert ist jedoch, daß eine der Metonschen sehr ähnliche Jahreseinteilung nach chinesischen Annalen schon um das Jahr 2600 v. Chr. im Reiche der Mitte eingeführt gewesen sein soll.

Aber diese Kalendereinrichtungen erwiesen sich mit der Zeit einerseits als zu wenig einfach und anderseits als nicht hinreichend genau. Auf die römische Zeitrechnung war außerdem die griechische nur in unvollkommener Weise übergegangen, so daß zur Zeit Julius Cäsars das Frühlingsäquinoktium, mit dem man damals das Jahr zu beginnen pflegte, volle 85 Tage später fiel, als es der Kalender angab. Der große Feldherr wollte auch in diesen Dingen Ordnung schaffen und verschrieb sich zu diesem Zwecke den Astronomen Sosigenes aus Alexandrien, das damals als Gelehrtenstadt in vollster Blüte stand. So entstand die bekannte Julianische Kalenderreform, die im Jahre 707 der römischen Ära oder im Jahre 47 v. Chr. eingeführt wurde. Zunächst wurden diesem Jahre 85 Tage angehängt, um mit der Sonne wieder in Übereinstimmung zu kommen. Man mag sich denken, daß dies im bürgerlichen Leben manche Schwierigkeiten entstehen ließ, weshalb man dieses Jahr das der Verwirrung genannt hat. Das Wesentlichste aber an der Reform war der völlige Bruch mit dem Mondjahre, der notwendig war, wenn man einfache Kalenderverhältnisse schaffen wollte. Bei genauer Festlegung des Kalenderwesens war es auch nicht mehr nötig, das Monatsdatum gewissermaßen direkt vom Himmel abzulesen, wie es früher nötig gewesen war, denn jedermann konnte nun seinen Kalender im Hause haben. Um mit der Sonne möglichst im Einklang zu bleiben, gab man dem Jahre 365 Tage, jedoch so, daß jedem vierten Jahr ein Schalttag zugefügt wurde. Das Julianische Durchschnittsjahr hat also 365 Tage 6 Stunden und war 11 Minuten 14 Sekunden zu groß. Die Unterabteilung der Monate behielt man bei, aber man legte bei 11 Monaten je einen Tag zu, um die 354 Tage des Mondjahres auf die 365 des Julianischen zu bringen. Dadurch entstand die gegenwärtig übliche Abwechselung der Anzahl der Monatstage zwischen 30 und 31, mit Ausnahme des einen Monats Februar, der damals der letzte im Jahre war. Ihre uralte Bestimmung, mit dem Mond in Übereinstimmung zu bleiben, verraten die Monate zwar durch ihre wechselnde Länge auch heute noch, erfüllen sie aber durchaus nicht mehr. Es wäre deshalb wohl an der Zeit, mit dieser ganz veralteten und gegenwärtig sinnlosen Übung zu brechen.

Der Julianische Kalender hatte also in seiner ursprünglichen Form keinerlei Beziehungen mehr zum Monde. Erst nachdem ihn das Christentum angenommen hatte, kam durch die vom jüdischen Kalender übernommene Bestimmung des Osterfestes wieder eine Abhängigkeit vom Mondlauf in die Kalenderrechnung. Das Konzil zu Nicäa bestimmte im Jahre 325, daß die Frühlingsnachtgleiche immer auf den 21. März des Julianischen Kalenders fallen solle und das Osterfest auf den Sonntag, der dem ersten Vollmonde nach diesem Datum folgt.

Da das Julianische Durchschnittsjahr von 365 Tagen 6 Stunden ein Hundertneunundzwanzigstel seines Wertes länger ist als das tropische Jahr, so bemerkte man nach einigen Jahrhunderten abermals den entstandenen Fehler der Zeitrechnung gegenüber dem Sonnenlaufe. Vom 13. Jahrhunder an tauchen deshalb die Vorschläge zu neuen Kalenderreformen immer häufiger auf. Die Päpste begannen sich für die Kalenderreformen lebhafter zu interessieren, und endlich entschloß sich Gregor XIII. im Jahre 1582, sie vorzunehmen. Es wurde eine Kommission gelehrter Männer nach Rom berufen und

beschlossen, daß die wiederum aufgelaufene Differenz von zehn Tagen durch Streichung des 5. bis 14. Oktober aus dem Kalender des Jahres 1582 beseitigt werden sollte; und um in der Folge solche Ausgleichungen erst nach sehr viel größeren Zeitintervallen vornehmen zu müssen, sollte fortan in jedem Beginn eines vollen Jahrhunderts, dessen Jahrhundertzahl sich nicht durch vier dividieren läßt, der Schalttag ausfallen. Demnach hatte das Jahr 1600 wohl wie gewöhnlich seinen Schalttag, dagegen nicht die Jahre 1700, 1800, 1900, sondern erst wieder 2000. Der durchschnittliche Fehler des Julianischen Kalenders von jährlich 11 Minuten 14 Sekunden war dadurch auf 22 Sekunden herabgemindert. Dieser Fehler wird sich erst in etwa 3900 Jahren auf einen Tag belaufen, so daß der Gregorianische Kalender auf sehr lange Zeiten hinaus allen Anforderungen des Lebens genügen wird.

Es währte jedoch sehr lange, ehe diese neue Reform eine einigermaßen ausgebreitete Annahme fand; und bekanntlich haben die griechisch-katholischen Länder noch heute den Julianischen Kalender beibehalten, so daß man z. B. in Rußland gegenwärtig 13 Tage gegen unseren Kalender zurückdatiert. Es waren seinerzeit namentlich die protestantischen Länder, die wegen der mit den Katholiken bestehenden Streitigkeiten lieber den heidnischen Kalender Julius Cäsars beibehielten, als daß sie den vom Papst aufgenötigten annehmen wollten. Erst durch sehr lebhafte Befürwortung von Leibniz und anderen wurde im Jahre 1700 der neue Kalender in Deutschland eingeführt. Große Schwierigkeiten verursachte die Reform auch in England, wo der Jahresanfang damals noch immer nach alter Sitte mit der Frühlingsnachtgleiche am 26. März begann. Es mußte nun, da man sich im Jahre 1751 dort endlich zur Annahme des neuen Kalenders entschloß, dieses Jahr um nahezu drei Monate gekürzt werden.

Die Bestimmung des Osterfestes wurde durch die Gregorianische Reform nicht verändert; trotzdem fallen die russischen Ostern meist auf einen anderen Tag als die unsrigen, weil das Datum des Frühlingsanfangs nach dem griechischen Kalender ein anderes ist, und deshalb der sogenannte Ostervollmond unter Umständen um eine ganze Lunation verschieden fallen kann. Zur Bestimmung unseres Osterdatums hat seinerzeit Gauß eine verhältnismäßig einfache Regel aufgestellt, die hier, wenn auch ohne Erklärung ihres Zusammenhanges mit den betreffenden kirchlichen Vorschriften, wiedergegeben sein mag: man dividiere die Jahreszahl durch 19 und nenne den Rest a; dann durch 4, der Rest sei mit b bezeichnet; endlich durch 7, Rest gleich c. Nun multipliziere man a mit 19, zähle eine gewisse Zahl x hinzu, die mit den Jahrhunderten sich ändert und hierunter angegeben werden wird. Die so erhaltene Zahl dividiert man durch 30, der Rest heißt d; jetzt addiert man $2b + 4c + 6d + y$ (y ist ebenfalls eine Zahl, die sich mit den Jahrhunderten ändert). Die Summe wird durch 7 dividiert und der Rest e genannt. Das Osterdatum ist dann gleich März $22 + d + e$. Die Zahlen x und y sind

	1583—1699	1700—1799	1800—1899	1900—2099
$x =$	22	23	23	24
$y =$	2	3	4	5

Für den Julianischen Kalender, also die russischen Ostern, gilt dieselbe Formel, nur sind dann konstant $x = 15$ und $y = 6$.

Aus den betreffenden Regeln ergibt sich, daß der Ostersonntag zwischen dem 22. März und dem 25. April schwanken kann; da nun manche bürgerlichen Einrichtungen, wie z. B.

die Schulquartale, sich nach der Lage des Osterfestes einrichten müssen, so führen die sehr erheblichen Schwankungen dieses Datums zu mancherlei Unannehmlichkeiten und Mißständen, deren Beseitigung vielen sehr willkommen sein würde. Mehr und mehr tauchen wegen dieser Schwankungen des Osterdatums und wegen der erwähnten willkürlichen Ungleichheiten der Monatslängen Vorschläge zu neuen Kalenderreformen auf.

Wir dürfen dieses Kapitel nicht schließen, ohne mit einigen Worten auch des französischen Revolutionskalenders zu gedenken, der gewalttätig wie alle Akte jener Zeit und ohne jede innere Berechtigung eingeführt worden war und deshalb auch nicht lange bestehen konnte. Astronomisch ist dieser Kalender ohne jeden Belang. Das neue Jahr desselben wurde in 12 Monate mit neuen Namen zu je 30 Tagen eingeteilt, zu denen 5, in den Schaltjahren 6 ausgleichende Festtage (jours sansculottistes) kamen. Die 30 Monatstage wurden in 3 zehntägige Wochen zerlegt, aber die komplementären 5—6 Tage außerhalb der Dekaden gelassen. Dieser Kalender bestand von 1792 bis 1806, war aber von vornherein äußerst unbeliebt, so daß man nach einem kühnen Vorstoß Lalandes mit großer Freude wieder zu dem Gregorianischen Kalender zurückkehrte.

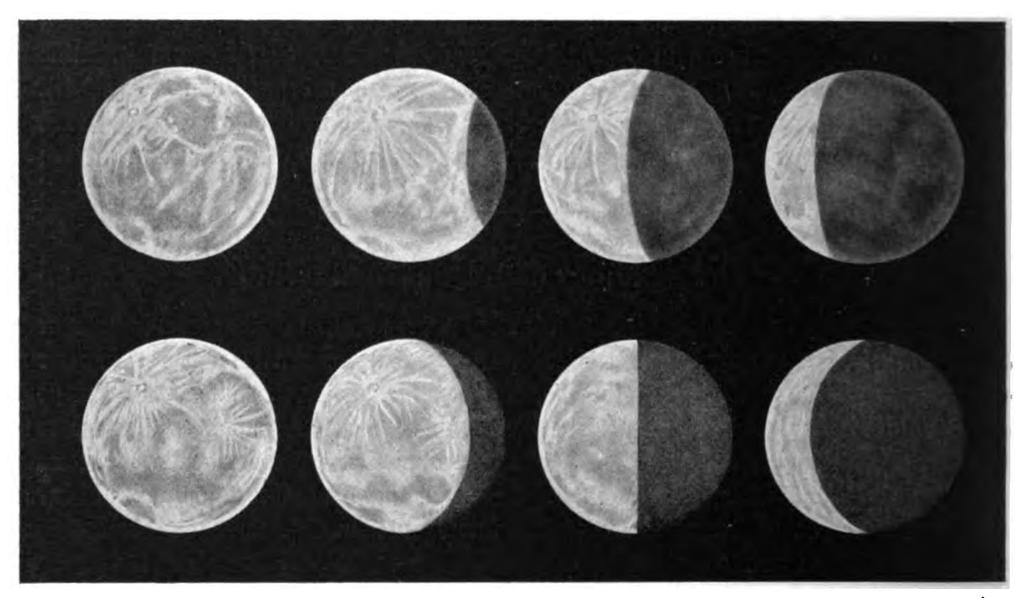
---

6. Die Mond- und Sonnenfinsternisse.

Ein wesentlicher Bestandteil des Kalenders war zu alten Zeiten ebenso wie noch heute die Angabe der in dem betreffenden Jahre eintretenden Finsternisse von Sonne und Mond. Da der Kalender mit dem Religionswesen und dem Ritus stets eng verknüpft war, und anderseits jede Religion aus der Verehrung der Gestirne entsprang (s. Einleitung), so waren diese Finsternisse immer von hervorragender Bedeutung und erschreckender Wirkung für das Volk. Haben sie auch heute ihre Wichtigkeit in diesem Sinne verloren, so gehören sie doch zu den interessantesten Erscheinungen, die das Firmament zu bieten vermag.

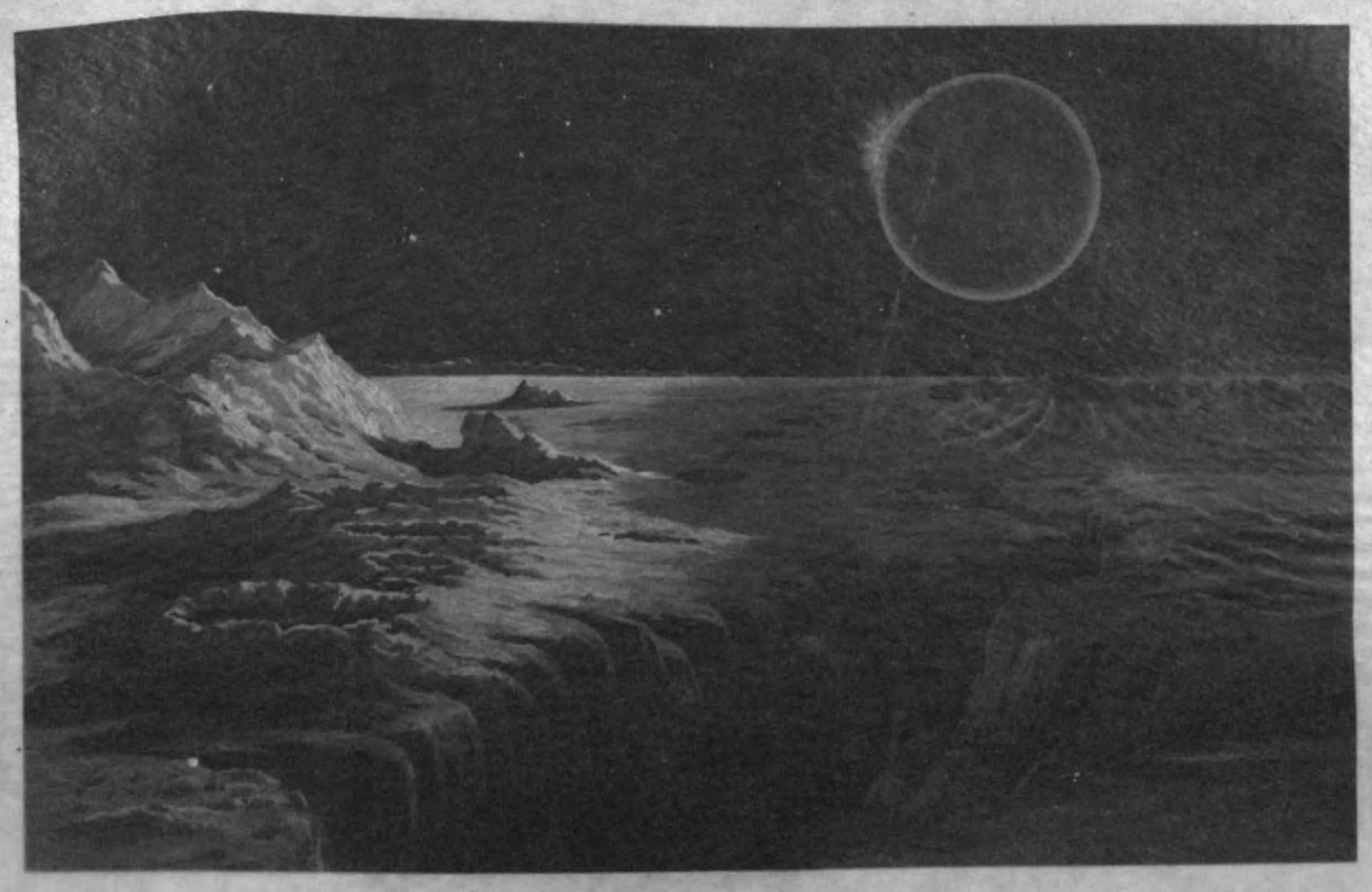
Sowohl Sonnen- wie Mondfinsternisse können partiell oder total sein; jeder totalen Finsternis geht die partielle Phase voraus und folgt ihr. Bei einer Mondfinsternis, die bekanntlich nur zur Vollmondszeit eintritt, sehen wir die vollbeleuchtete Scheibe langsam auf ihrer Ostseite sich verfinstern. Sehr selten jedoch wird dann alles Licht vom Monde ferngehalten; meist sieht es so aus, als ob der Mond nur hinter eine rötlich durchschimmernde Scheibe tritt, welche die hauptsächlichen Gebilde seiner Oberfläche noch erkennen läßt. Der Eindruck, den dabei eine partielle Mondfinsternis für das bloße Auge bietet, ist auf der S. 102 beigehefteten farbigen Tafel dargestellt. Im weiteren Verlauf der Finsternis rückt der Mond immer mehr hinter diese Scheibe, deren Kontur unverändert die eines Kreises von etwa zweieinhalbmal größerem Durchmesser als die Mondscheibe selbst bleibt. Die Abnahme der vollen Beleuchtung geht hier also in ganz anderer Weise vor sich als während des gewöhnlichen Phasenwechsels, wie die Abbildung, S. 528, sofort erkennen läßt. Nicht immer geht indes der Mond derartig hinter dieser scheinbaren Scheibe vorbei, daß beide Zentren einander treffen, wie es auf unserer Zeichnung der Fall ist, sondern in den meisten Fällen bleibt er etwas ober- oder unterhalb, so daß er oft überhaupt nicht ganz verdunkelt wird. So entstehen die drei verschiedenen Arten von Mondfinsternissen: die zentral-totalen, die totalen und die partiellen.

Es ist der Erdschatten, der den roten Schimmer um diese Zeit über die Mondoberfläche verbreitet. Wäre die Erde nicht von einer Dunsthülle umgeben, so müßte der Schatten, den sie hinter sich herzieht, ganz schwarz sein. Es ist kein Grund vorhanden, weshalb auf den Mond sonst noch Licht irgendwelcher Art fallen sollte, sobald die Strahlen der Sonne von ihm gänzlich abgehalten sind. Am Himmel des Mondes steht die strahlende Scheibe der Sonne unvermittelt neben dem Dunkel tiefer Nacht, aus dem die Sterne auch am Tage hervorleuchten; denn die blaue Färbung unseres irdischen Himmels entsteht nur durch die Zerstreuung des Lichtes in unserer Lufthülle. Höchstens mag eine eigene blaue Färbung der Luft oder des in ihr schwebenden Wasserdampfes noch einen



Phasen einer Mondfinsternis (oben) und des Mondwechsels (unten). Vgl. Text, S. 527.

Anteil an der Färbung unseres Himmels haben. Auf dem Monde fehlt diese Luft oder ist doch höchstens in so geringer Menge vorhanden, daß ihre optischen Wirkungen auch auf seiner Oberfläche so wenig wahrzunehmen wären, wie mit unseren feinsten Messungen von der Erde aus Spuren davon zu entdecken sind. Tritt also die Sonne hinter die $3^3/_4$mal größere Erdscheibe, so wird nicht wie auf der Erde immer noch ein Dämmerlicht übrigbleiben. Der Himmel wird vielmehr so dunkel erscheinen, wie er es in unserer idealen Darstellung einer Sonnenfinsternis auf dem Monde, die gleichzeitig mit einer Mondfinsternis auf der Erde eintritt, wiedergegeben ist (s. die beigeheftete farbige Tafel). Es ist in diesem Bilde der Augenblick gewählt, in dem für den Mond gerade die Totalität beginnt; nur einige Strahlen der Sonnenkorona überragen den Rand der Erdscheibe. Auf der linken Seite der Landschaft ist die Totalität noch nicht eingetreten, die Sonne scheint hier noch grell auf die wildzerrissenen Bergwände der Kraterumwallungen; aber von rechts her dringt schnell der Schatten der Erde vor und überspringt soeben die weite Kluft der Rille, die im Vordergrunde gähnt. Die Erde muß um diese Zeit, da sie genau zwischen Sonne und Mond steht, dem Mond ihre Nachtseite zuwenden. Sie wird dann

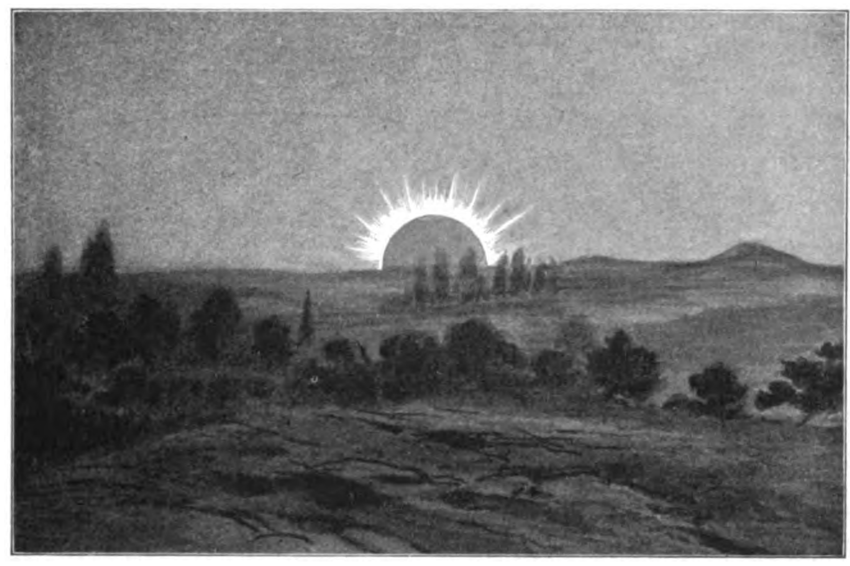


EINE SONNENFINSTERNIS AUF DEM MONDE

Ideale Landschaft, ausgeführt von W. Kranz.

rings umgeben von der Dämmerzone, in der wir den Farbenzauber der Morgen- und Abenddämmerung beobachten. Der Saum der Erde wird also für andere Bewohner des Weltalls mehr oder weniger rötlich leuchten, je nachdem mehr oder weniger Wasserdampf, der die farbigen Dämmerungserscheinungen veranlaßt, in den betreffenden Atmosphärengebieten schwebt. Und dieser rote Saum ist es, der sein Licht im Erdschatten verbreitet und auf den verfinsterten Mond wirft.

Entsprechend der gegebenen Erklärung ist die Intensität der Rötung des verfinsterten Mondes bei jeder Erscheinung verschieden und keiner bestimmen Gesetzlichkeit unterworfen. Sie kann auch gelegentlich fast ganz ausbleiben, so daß der Mond beinahe unsichtbar wird, oder sie kann ein andermal viel mehr ins Bläuliche hinüberspielen. Da deshalb

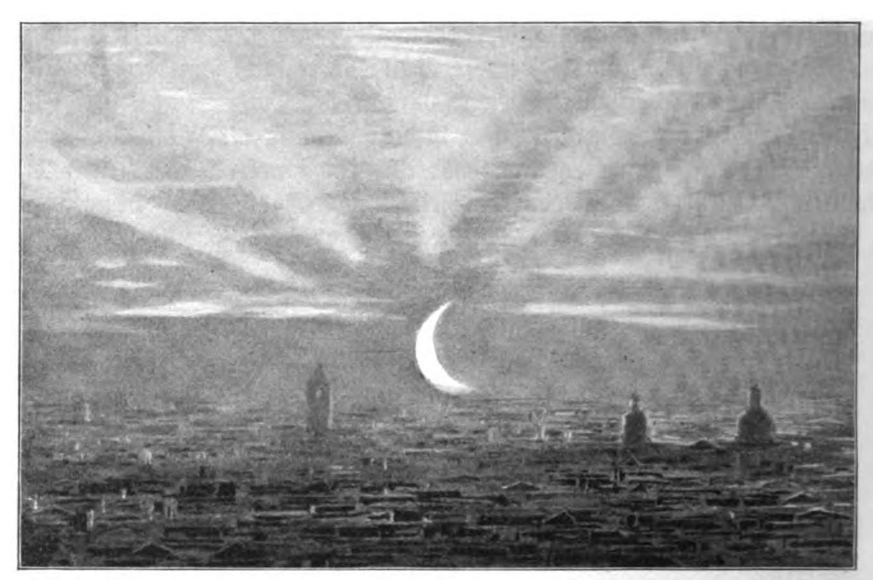


Die Sonne während der Finsternis vom 19. August 1887, in der Nähe des Kyffhäusers. Vgl. Text, S. 533.

über die Erklärung dieses rötlichen Scheines keine Zweifel obwalten, so dürfen wir unserer malerischen Darstellung eine gewisse Wahrheitstreue nicht absprechen, ja in gewissem Sinne behaupten, daß sie nach der Natur aufgenommen sei. Die Hilfsmittel strenger Forschung setzen uns hier in den Stand, unseren Blick auf eine andere Welt zu versetzen. Die Oberflächenbeschaffenheit des Mondes ist uns in einem früheren Kapitel bekannt geworden und von dem Maler durch perspektivische Veränderung der Linien möglichst naturgetreu wiedergegeben; die scheinbare Größe der Erde am Himmel des Mondes im Verhältnis zu der der Sonne läßt sich mit vollkommener Schärfe aus den mehrerwähnten Parallaxenbestimmungen finden; die Dunkelheit des dargestellten Himmels ist durch den Mangel der Strahlenbrechung am Rande des Mondes als notwendig bewiesen; das Vordringen des roten Schimmers über die Landschaft der Mondoberfläche beobachten wir direkt in unseren Fernrohren, wie es hier, nur mit veränderten Gesichtslinien, für einen Standpunkt auf der Mondoberfläche wiederholt ist.

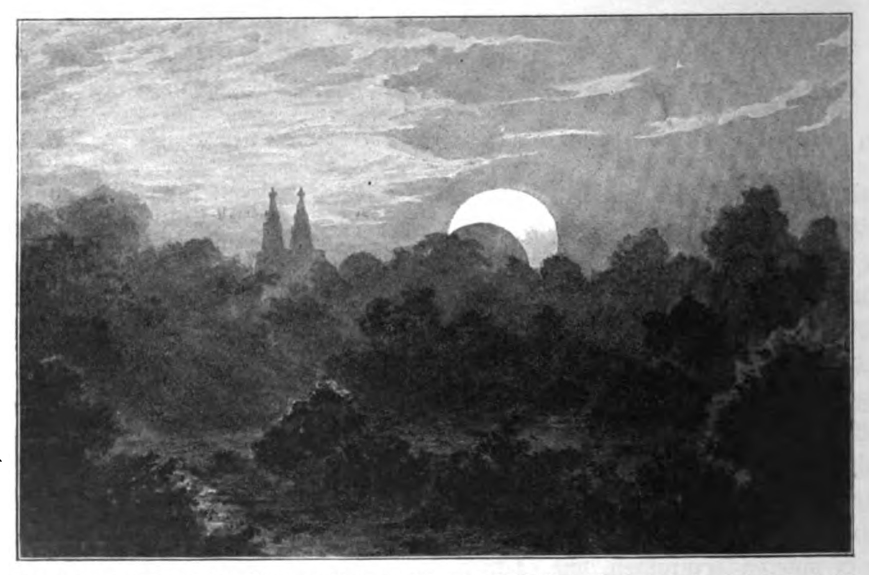
Dieser Darstellung einer Sonnenfinsternis auf dem Monde entsprechen auch die Vorgänge, durch die eine S o n n e n f i n s t e r n i s bei uns entsteht; nur ist es hier der Mond,

der zwischen Sonne und Erde tritt. Da indes die scheinbaren Durchmesser der beiden Himmelskörper nur wenig voneinander verschieden und überdies durch unsere veränderliche



Die Sonne während der Finsternis vom 19. August 1887, über Berlin aufgehend. Vgl. Text, S. 533.

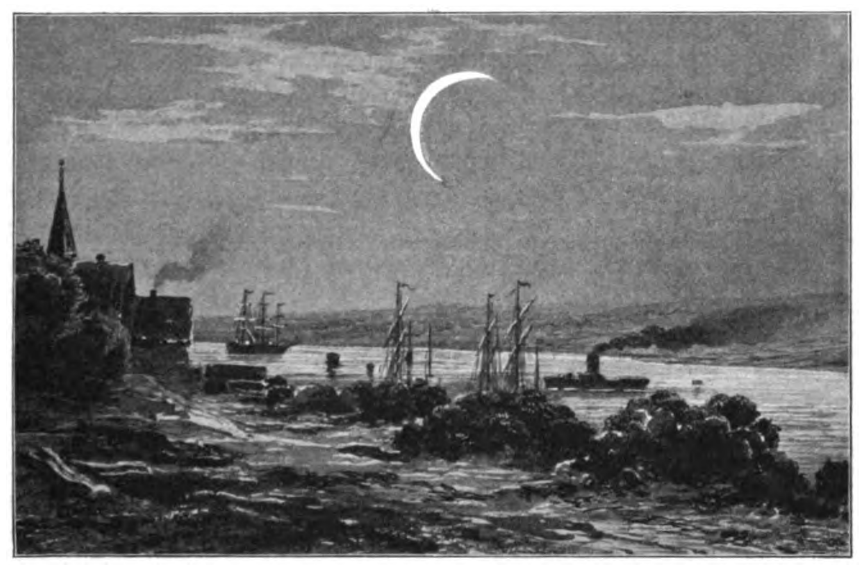
Entfernung von ihnen selbst veränderlich sind, so kann es kommen, wie wir später noch näher entwickeln werden, daß eine zentrale Sonnenfinsternis nicht total wird, nämlich dann,



Die Sonne während der Finsternis vom 19. August 1887, über Köln aufgehend. Vgl. Text, S. 533.

wenn der Monddurchmesser scheinbar kleiner ist als der der Sonne. Wir unterscheiden deshalb außer den partiellen Sonnenfinsternissen totale und ringförmige.

Partielle Sonnenfinsternisse bieten ebenso wie die Mondfinsternisse überhaupt für den Astronomen kein besonderes Interesse mehr dar. Die Beobachtung des Anfanges



Die Sonne während der Finsternis vom 19. August 1887, größte Phase in Kiel. Vgl. Text, S. 533.

und Endes einer Mondfinsternis war höchstens bis zur Erfindung des Telegraphen noch von einiger Wichtigkeit, weil diese Momente für die ganze Erde im gleichen physischen

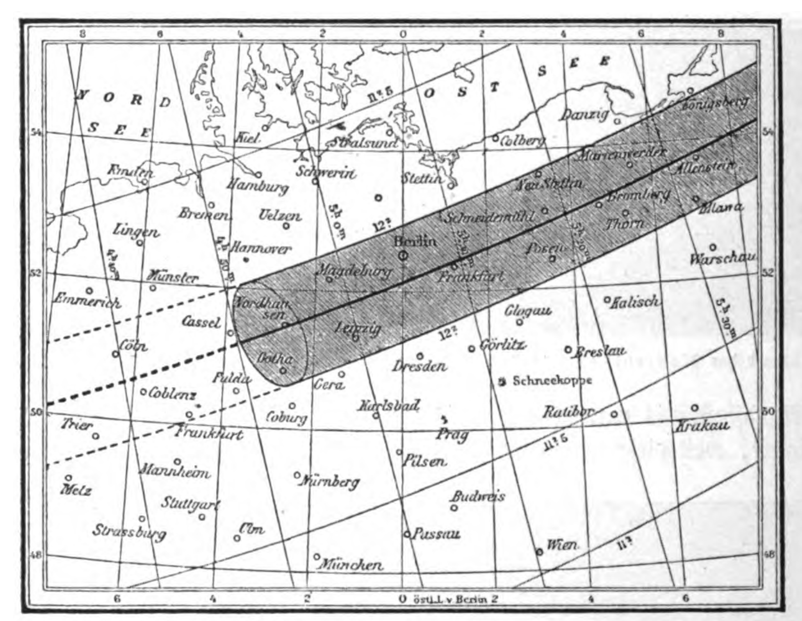


Die Sonne während der Finsternis vom 19. August 1887, größte Phase in Wien. Vgl. Text, S. 533.

Momente stattfinden, so daß man sie zur Bestimmung der geographischen Länge als Signal verwerten konnte (s. S. 514). Heute würde dieses Mittel viel zu ungenaue

Resultate geben. Man bedient sich der Mondfinsternisse deshalb nur noch, um während ihrer Dauer die Vorübergänge des Trabanten vor Fixsternen zu beobachten, die so schwach leuchten, daß sie für uns schon in der Nähe der strahlenden Mondscheibe auch im Fernrohr verschwinden. Die Beobachtung partieller Sonnenfinsternisse ist aber nicht einmal in dieser oder einer ähnlichen Weise nutzbar zu machen.

Dagegen bieten die **totalen Verfinsterungen** des Tagesgestirnes eine Reihe so merkwürdiger Erscheinungen dar und versetzen den Astronomen in eine so seltene Lage, daß solche Himmelserscheinungen fortdauernd der Gegenstand sorgfältig ausgerüsteter Expeditionen bleiben werden. Erst gegen die Mitte des vorigen Jahrhunderts begannen jene Erscheinungen das allgemeine Interesse der Astronomen zu wecken, so bei der totalen Sonnenfinsternis von 1842, deren Totalitätszone durch ganz Europa und Asien hinstrich. Man war hier zuerst allgemeiner auf die schon geschilderten **Protuberanzen** und die **Korona** (S. 285 u. f.) aufmerksam geworden, über deren Bedeutung bald eine lebhafte Diskussion entbrannte. Die folgenden totalen Sonnenfinsternisse, deren Beobachtung sich nun immer mehr Astronomen widmeten, entschieden nach und nach die betreffenden Fragen, wie wir es im Kapitel über die Sonne dargestellt haben. Bei der 1860er Finsternis, von der wir eine Korona- und Protuberanzabbildung Plantamours auf der Tafel bei S. 286 gegeben haben, wurden zuerst brauchbare Negativbilder der verfinsterten Sonne aufgenommen, nachdem 1851 die erste Daguerreotypie gelungen war. Zu der Finsternis vom 18. August 1868 hatten verschiedene Regierungen kostspielige Expeditionen ausgerüstet. Bei dieser war es, wo Janssen zuerst das Spektroskop anwandte und die hellen Linien der Protuberanzen sah. Die spektroskopische Beobachtung gewann nun immer mehr Ausdehnung und Wichtigkeit; die Finsternis vom 22. Dezember 1870 wurde von den hervorragendsten Spektroskopikern eingehend untersucht, und es mag hier der Kuriosität halber erwähnt werden, daß Janssen, der in dem von der deutschen Armee zernierten Paris die dort nur partielle Finsternis nicht vorübergehen lassen wollte, sich in einem Luftballon glücklich flüchtete, um das Totalitätsgebiet zu erreichen.



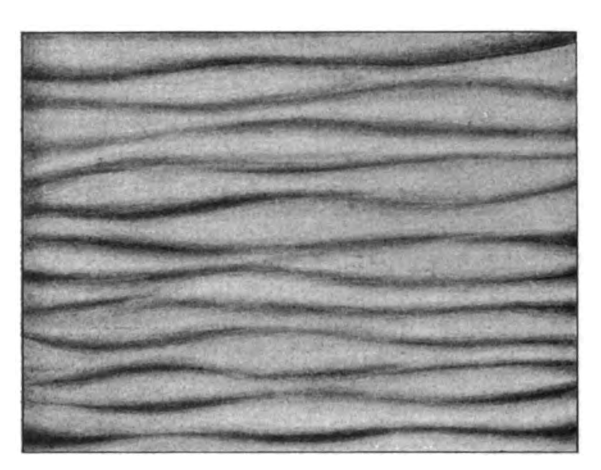
Verlauf des Mondschattens während der Sonnenfinsternis vom 19. August 1887.
Vgl. Text, S. 533.

Seit der Finsternis vom 29. Juli 1878 wurde dem Programm für die Finsternisbeobachtungen noch ein neuer Gegenstand hinzugefügt, als der Amerikaner Watson während der Totalität zwei rotstrahlende Punkte in der Nähe der Sonne gesehen hatte, die er für intramerkurielle Planeten hielt. Leverrier hatte die Existenz solcher kleinen sonnennahen Körper aus theoretischen Gründen längst vermutet, zugleich aber vorausgesehen, daß sie sicher nur während totaler Sonnenfinsternisse entdeckt werden könnten. Später ist zwar von Peters in Clinton (Nordamerika) die Beobachtung Watsons als eine irrtümliche erkannt worden, aber man hat es doch nicht unterlassen, die Gelegenheit totaler Sonnenfinsternisse zur Nachforschung nach diesen problematischen Körpern zu benutzen, wenngleich ohne Erfolg. Die namentlich in Ägypten sichtbare Verfinsterung vom 16. Mai 1882 eröffnete dagegen die Frage nach anderen Körpern, die sich nur vorübergehend so sehr in der Nähe der Sonne aufhalten, daß sie sich in ihren Strahlen zu anderen Zeiten völlig verbergen. Es wurde damals auf einer photographischen Platte der Komet Chedive entdeckt, der zu den an anderer Stelle gegebenen Betrachtungen (s. S. 205) Anlaß gab. Nächst dieser Sonnenfinsternis hat die vom 19. August 1887 das lebhafteste Interesse dadurch hervorgerufen, daß das Gebiet, in dem sie total auftrat, über Norddeutschland, insbesondere über Berlin hinzog. Leider hat die Ungunst des Wetters den Hunderttausenden, die damals in den frühen Morgenstunden dem angekündigten seltenen Himmelsschauspiele mit Spannung entgegensahen, arge Enttäuschungen bereitet.

Aus den Zeichnungen (s. die Abbildungen auf S. 529 bis 531) ist zu ersehen, wie sich derartige Finsternisse im allgemeinen darstellen. In Berlin sah man am 19. August 1887 die Sonne als schmale Sichel, deren konvexe Seite nach links unten gekehrt war, aufgehen; die Sichel wurde dann kleiner und kleiner, bis der Moment der Totalität eintrat. Danach wurde die Sichel auf der anderen Seite sichtbar, d. h. nach rechts oben gekehrt; sie vergrößerte sich zusehends, bis nach Verlauf von etwa einer Stunde auch die partielle Phase vorüber war. In Köln stellte sich aber das Phänomen wesentlich anders dar. Dort ging die Sonne als nach rechts oben gekehrte Sichel auf und vergrößerte sich nun immer weiter; die Erscheinung zeigte also hier nur den Teil, der in Berlin der Totalität folgte. Auf einem dazwischenliegenden Gebiete Deutschlands, z. B. am Kyffhäuser bei Nordhausen, ging die Sonne total verfinstert auf, und die Finsternis hatte dann denselben weiteren Verlauf wie in Berlin. Anders dagegen verlief die Finsternis nördlich und südlich von einer gewissen Zone; in Kiel beispielsweise wurde die Sonne überhaupt nicht ganz verfinstert, sondern es blieb eine schmale Sichel der Sonne übrig, die, als sie am kleinsten war, nach links oben stand. Umgekehrt verhielt es sich in Wien, wo die kleinste Phase nach rechts unten wies. Auf unserem Kärtchen (s. Abbildung, S. 532) ist das Gebiet dunkel schraffiert, in dem die Finsternis total auftrat; die schräg von oben nach unten verlaufenden Linien geben den Beginn der Totalität von 10 zu 10 Minuten an. Wir sehen also, daß er nach Osten hin immer später stattfindet. Oben und unten sind parallel zur Zentralitätszone Linien gezogen, die mit 11,5 Zoll, bezw. 11 Zoll bezeichnet sind; sie geben die Größe der Verfinsterung in diesen Gebieten nach älterer Manier in Zollen an; 12 Zoll bedeuten dabei den vollen Durchmesser der Sonne.

Der Eintritt der totalen Phase der Finsternisse gibt sich häufig durch ein nur stellenweises Zerreißen der mit großer Geschwindigkeit zu einem schmalen Lichtfaden zusammenschrumpfenden Sonnensichel zu erkennen. Es bilden sich perlenschnur- oder

rosenkranzartige Gebilde, deren Entstehung sich aus den Unebenheiten des fortschreitenden Mondrandes, aus Gebirgen, die sich dort befinden, erklärt. Durch die Irradiation (s. S. 34) wird die Sonnenscheibe scheinbar vergrößert; ihre Wirkung hört aber da auf, wo der dunkle Mondrand die Sonnenscheibe zu überdecken beginnt, während an den anderen Stellen die Irradiationswirkung noch übergreift und dadurch die Lichtperlen bildet. Wenige Sekunden darauf tritt die Totalität ein und verwandelt mit einem Schlage die ganze Szenerie. Seltsame fliegende Schatten eilen in diesem Augenblicke, namentlich für einen erhöht stehenden Beobachter, mit der Geschwindigkeit eines Eilzuges über die Landschaft dahin. Es sind dunklere und hellere wellenförmige Streifen, die beständig hin und her zittern und bei einigen Beobachtern den Eindruck hervorriefen, als beginne die Erde in diesem Augenblicke zu schwanken. Diese sahen auch, daß die Tiere vor diesen schlängelnden Schatten entsetzt flüchteten. Unsere Abbildung gibt eine Zeichnung derselben wieder, die während der Finsternis vom 30. August 1905 in Souk-Ahras (Algerien) hergestellt wurde. Die einzelnen Schattenwellen standen etwa 50 cm voneinander ab, ihre Breite betrug 4—5 cm. Die merkwürdige und noch nicht ganz aufgeklärte Erscheinung tritt namentlich an der Grenze des Totalitätsgebietes und auch noch etwas darüber hinaus auf; man hat sie durch Beugungserscheinungen am Rande des Mondes zu erklären gesucht, doch zeigt die Theorie, daß dann die Streifen viel breiter sein müßten. Viel wahrscheinlicher ist es, daß die Erscheinung durch Erzittern der Luftschichten und dadurch hervorgerufene schwankende Strahlenbrechung entsteht, ähnlich der, die das Funkeln der Sterne erzeugt.



Fliegende Schatten, beobachtet während der totalen Sonnenfinsternis am 30. August 1905 in Souk-Ahras (Algerien).

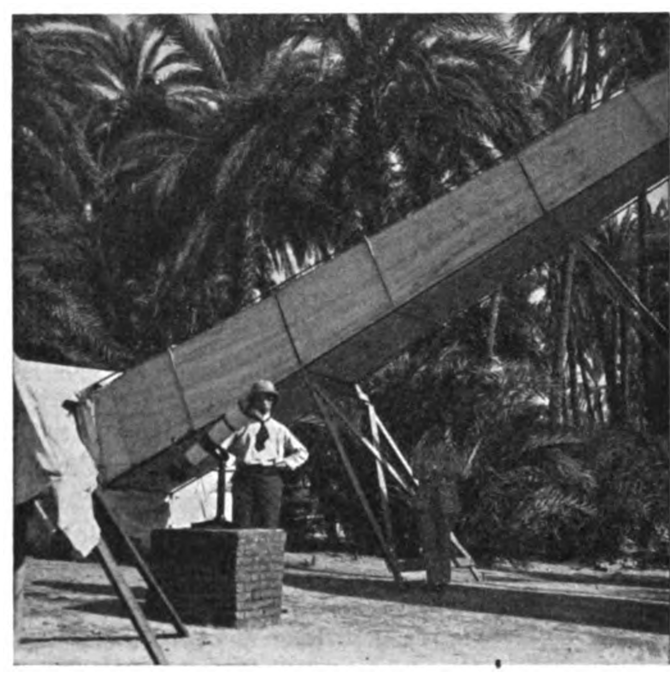
Der Verfasser hat selbst Gelegenheit gehabt, die totale Finsternis vom 30. August 1905 in Assuan (Oberägypten) zu beobachten. Er hatte sich auf der Nilinsel Elephantine mit einem kleinen photographischen Fernrohr aufgestellt, das ihm zu diesem Zwecke von der Firma Zeiß in Jena zur Verfügung gestellt wurde. Unser Bild auf S. 535 zeigt dieses Instrument vor einem Teil des mächtigen, 20 m langen Fernrohres, das eine hierher gesandte Expedition der Lick-Sternwarte errichtet hatte, um damit 16 cm große Sonnenbilder zu erzeugen.

Es sei dem Verfasser hier gestattet, die Schilderung des unmittelbaren Eindrucks der Erscheinung einem Werkchen zu entnehmen, das er über seine betreffende Reise unter dem Titel: „Ägyptische Finsternis“ im Kosmosverlag, Stuttgart, erscheinen ließ:

„Langsam schob sich die dunkle Scheibe weiter in die Sonne hinein. Es war wie ein Schicksal, daß man langsam, aber mit unerschütterlicher Konsequenz, herannahen sah. Als die Sonne nur noch wie der drei Tage alte Mond aussah, und noch eine Viertelstunde vor dem großen Augenblicke lag, wurden die profanen Herrschaften gebeten, das Feld zu räumen. Wir waren unter uns mit unseren Instrumenten und der abnehmenden

Sonne. Eine feierliche Stille entstand; feierlich und still auch zog der Nil vor uns hin. Eine seltsame Erscheinung zeigte sich. Die Lichtflecke, welche die Zweige der Palmen zwischen sich durchließen, nahmen jetzt alle Sichelgestalt an, der ganze Erdboden in der Umgebung unserer Instrumente wurde davon eigentümlich gezeichnet. Etwa zehn Minuten vor der Totalität bemerkte man doch schon eine deutliche Abnahme der Lichtintensität in der Landschaft.

„Das Licht nahm schneller und schneller ab. Auf dem Nil perlten nur noch einige Reflexe der ganz schmalen Sonnensichel beinahe wie bei Mondschein. Und doch nicht. Es war eine Beleuchtungsart, die man nie vorher gesehen hatte, und ich suche vergebens nach Vergleichen, um zu beschreiben, was ich schon hundertmal vorher hatte beschreiben müssen, ohne es wirklich gesehen zu haben. Man könnte sagen, es sei wie ein herannahendes Gewitter gewesen, aber es war kein so gelbliches Licht, es war vielmehr graublau, und dann war auch der noch vorhandene Sonnenschein nur ganz schwach, während er bei herannahenden Gewittern gerade sehr scharfe Kontraste hervorzubringen pflegt. Es war wirklich, als ob über die ganze Natur eine Ohnmacht käme, oder, vielleicht noch besser, als ob uns im Laufe dieser Minuten das Augenlicht zu schwinden begänne. Denn es änderte sich ja sonst nichts am Himmel und auf der Erde als nur die Beleuchtung.



Station in Assuan zur Beobachtung der totalen Sonnenfinsternis am 30. August 1905. Nach Photographie. Vgl. Text, S. 534.

„In den letzten zehn Sekunden nahm die Dunkelheit mit erschreckender Schnelligkeit zu. Als aber erst die letzten über den mit Bergen besetzten Mondrand hinperlenden Sonnenstrahlen verschwunden waren, vollzog sich in der letzten Sekunde ein so vollkommener Wandel der Szenerie, daß man trotz aller Vorbereitungen völlig davon überrascht war, und es mir durch und durch ging. Es war wie ein Riß durch die Natur. War es vorher dunkel, so wurde es jetzt im ersten Augenblicke plötzlich ganz finster, wie in schwarzer Nacht, bis sich das Auge einigermaßen akkommodiert hatte. Ebenso plötzlich, als ob im Laufe der letzten Sekunde durch das transparente Himmelsgewölbe der geheimnisvolle Schein von einem Jenseits herüberglimmte, trat der silberne Strahlenkranz der Korona hervor; es war, als ob dieses Licht jetzt eben erst von der Stelle, wo die Sonne nun gänzlich verschwunden war, ausginge und mit Schnelligkeit in den dunkeln Raum hinausgeschleudert

würde. Weil der Ort, wo vordem die Sonne stand, jetzt dieselbe Dunkelheit und Färbung wie der übrige Himmel besaß, sogar durch Kontrastwirkung mit der Korona noch etwas dunkler erschien, so hatte man den verwirrenden Eindruck, als ob das Tagesgestirn wirklich aus der Welt gekommen wäre, in nichts zerfloß, diesen gespenstischen Schein rings um die entstandene Leere zurücklassend, und als ob die ganze Natur nur noch eine Schattenexistenz besäße. Am Horizont lagerte ein düster orangegelber Schein, von den Teilen unserer Atmosphäre herrührend, die nicht mehr vom Kernschatten des Mondes getroffen wurden. Dieses gelbe Licht teilte sich den Gesichtern mit, so daß auch die Menschen nur noch wie fahle Schatten aussahen. Nach meiner Erinnerung hat der Künstler das bei S. 5 wiedergegebene Landschaftsbild von dem großen Augenblick geschaffen.

„Die Pulse der irdischen Natur stockten, sie selbst schien auf ihrem Wege anzuhalten. Man kann sicher sein, daß jeder, auch der Stumpfsinnigste, seine Schritte anhielt, als der Mondschatten über ihn hinwegsauste. Charakteristisch war es in dieser Hinsicht, daß der Maschinenführer eines Zuges, der noch einige Kilometer von dem Bahnhof von Assuan sich auf der Fahrt befand, den Zug unter dem verwirrenden Eindrucke der einbrechenden Dunkelheit anhalten ließ, wie vor einem gefahrdrohenden Hindernisse. Unser schwarzer Diener, dem man erlaubt hatte, im Heiligtum unserer Station zu bleiben, und der bis dahin mit gekreuzten Armen dagestanden hatte, duckte sich plötzlich, als ob er meinte, es fiele etwas vom Himmel auf ihn herab, dann wollte er fortlaufen, gewann aber doch angesichts der Ruhe, die wir bewahrten, seine Grandezza wieder und hielt die Sache weiter bis zum Schlusse mit gekreuzten Armen aus.

„Zwei rote Flammen, Protuberanzen, die über den Mondrand hervorglühten, konnte ich mit bloßem Auge deutlich sehen und einige Strahlenbüschel der Korona in ihrer eigentümlichen Form bis etwa anderthalb Sonnendurchmesser am Himmel verfolgen. Einige Sterne glänzten am Himmel, namentlich Venus.

„Aber ehe man es sich versah, viel schneller, als man sonst den Eindruck einer Zeitspanne von zweieinhalb Minuten hat, blitzte der erste Sonnenstrahl über den Mondrand hinweg, die Korona zog sich wieder in sich selbst zusammen; schneller, als sie verschwunden war, schien die alltägliche Beleuchtung wiederzukommen."

Wir empfinden beim Eintritt einer solchen Erscheinung, wie unmittelbar das Leben der Natur von der Strahlenspende unseres Zentralgestirnes abhängt, wenn auch jener Einfluß auf Tiere und Pflanzen, den man in früheren Zeiten, als sich noch die seltsamsten abergläubischen Ideen an die Finsternisse knüpften, und selbst bis in die neuere Zeit mystischen Ursachen zuschrieb, sich ganz natürlich erklären läßt. Man hat oft beobachtet, daß alle Tiere, namentlich aber die fliegenden bis zu den Insekten herab, vor jedem schnell fortschreitenden Schatten flüchten, weil unter gewöhnlichen Umständen der Schatten das Herannahen irgendeiner vermeintlichen Gefahr anzuzeigen pflegt. Das Schließen der Blumen mag nicht nur in dem Fehlen der Sonnenstrahlen, sondern auch in der recht beträchtlichen Abnahme der Temperatur seinen Grund haben, die meist sofort nach Eintritt der Totalität beobachtet wird. Auch eine merkliche Erhöhung der Windstärke hat man häufig bemerkt; dieselbe läßt sich unschwer aus der Herabminderung der Temperatur erklären, denn der Wind sucht stets ungleiche Temperaturen auszugleichen und geht deshalb mit dem Mondschatten. Daß auch die Barometerangaben schwanken, ist angesichts des auftretenden Finsterniswindes zu erwarten.

Um die **Erklärung** für den Eintritt und den Verlauf der Phasen bei Sonnen- und Mondfinsternissen zu finden, müssen wir uns den uns schon bekannten Bewegungen der Sonne und des Mondes zuwenden.

Würde die Mondbahn nicht gegen die Ekliptik geneigt sein, würden also Sonne und Mond in demselben größten Kreise den Himmel umlaufen, so müßte alle Monate einmal beim Eintritt des Neumondes der Mond die Sonne verdecken, d. h. eine Sonnenfinsternis erzeugen; und ebenfalls alle Monate einmal zur Vollmondzeit müßte unser Trabant so genau hinter die Erde treten, daß ihr Schatten ihn bedeckt, vorausgesetzt, daß dieser Schatten weit genug in den Weltraum hinausreicht. Bekanntlich ereignen sich jedoch die so entstehenden Sonnen- und Mondfinsternisse bei weitem nicht so häufig, da zu ihrer Erzeugung noch die weitere Bedingung erfüllt sein muß, daß der Neu-, bezw. Vollmond an der Stelle des Himmels eintritt, in der jeweilig der Durchschnittspunkt der Bahnen von Sonne und Mond, d. h. der Knotenpunkt der Mondbahn liegt. Dieser letztere bewegt sich aber (S. 518) auf der Ekliptik in 18,5997 Jahren einmal um den ganzen Himmel herum, wie die Zeichnung auf S. 541 noch näher veranschaulicht.

Aus dieser Bewegung ergibt sich der Drachenmonat, der, wie wir schon wissen, 27,2 Tage zählt; der synodische Monat ist aber 29,5 Tage lang. Um nun die periodische Wiederkehr der Finsternisse zu ermitteln, kommt es darauf an, zwei aus ganzen Zahlen gebildete Faktoren zu finden, die, wenn man die eine mit dem synodischen, die andere mit dem Drachenmonat multipliziert, möglichst die gleiche Zahl ergeben. Es zeigt sich, daß diese Bedingung für 223 synodische und 242 Drachenmonate erfüllt wird; dieser Zeitraum entspricht 6585 1/3 Tagen, gleich 18 Jahren 11 1/3 Tagen. Um noch diesen Dritteltag wegzuschaffen, d. h. die Wiederkehr ungefähr für dieselbe Tageszeit vorhersagen zu können, multiplizieren wir diese Zahl noch mit 3; wir erhalten dann 19,756 Tage für die gesuchte Periode.

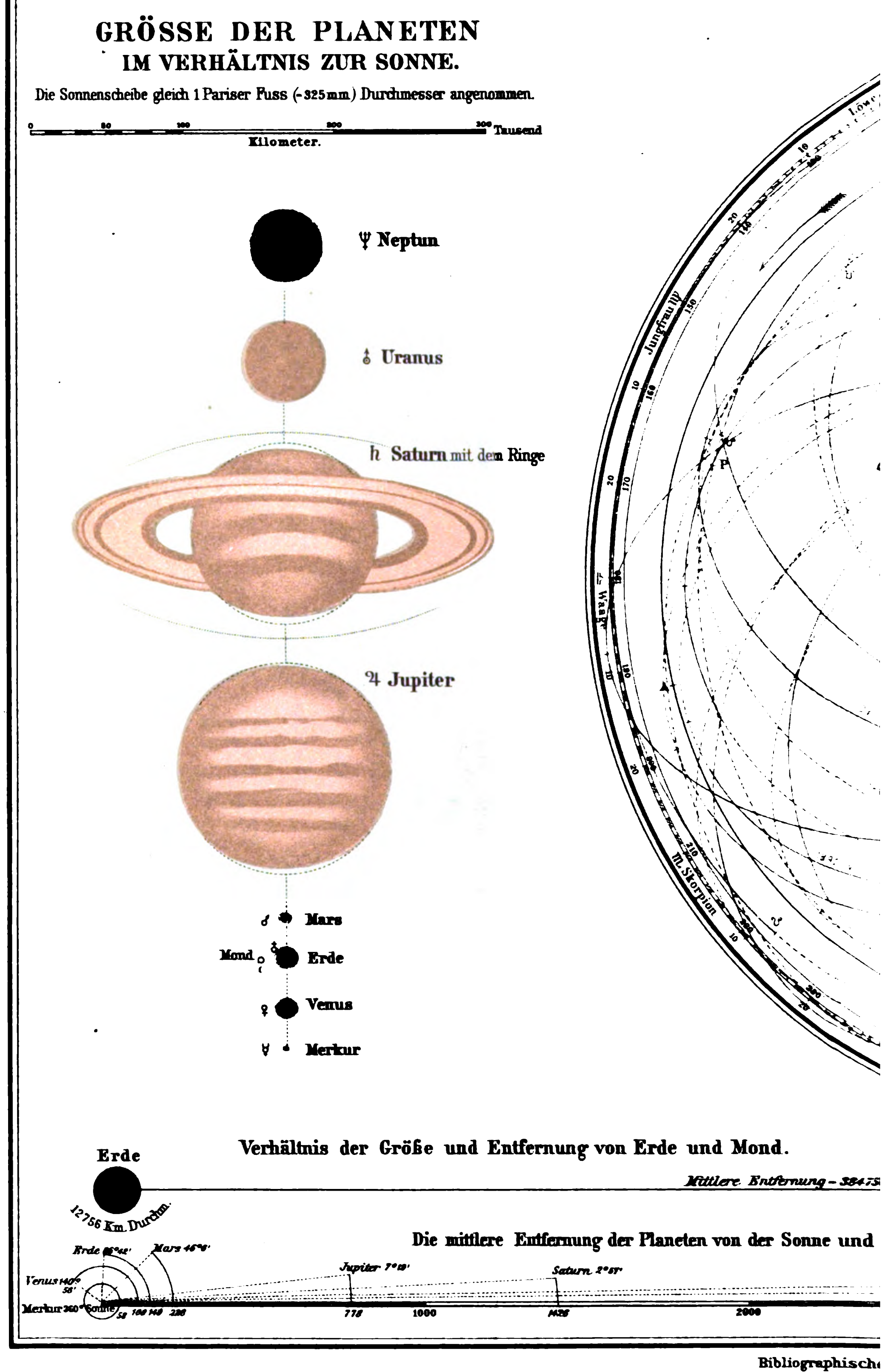
Diese Periode hatten schon die ältesten Astronomie treibenden Völker, wie die Chinesen, die Chaldäer und Hindus, erkannt, ohne daß sie das Wesen der Finsternisse irgendwie erfaßt hatten. Schon in unserer Einleitung fanden wir mehrfach Gelegenheit, davon zu sprechen, wie sehr es diesen alten Völkerschaften darauf ankam, die Finsternisse vorausberechnen und ankündigen zu können, da Sonne und Mond zu den Gottheiten oder doch zu ihren Attributen gehörten, die nach der damaligen Ansicht während einer Finsternis von Dämonen oder übernatürlichen Ungeheuern angefallen wurden, die nur durch besondere Zeremonien, Gebete, großen Lärm, Beschießuug u. s. w. verscheucht werden konnten. Es war deshalb sehr wichtig, rechtzeitig für die Vorbereitung zu diesen Zeremonien Sorge tragen zu können. Außerdem erhöhte sich das Ansehen der Priesterschaft wesentlich durch die Geheimkunst dieser Vorausberechnungen. Es ist uns in den chinesischen Annalen ein Fall überliefert, daß gegen Ende des 3. Jahrtausends vor Beginn unserer Zeitrechnung zwei Hofastronomen Hi und Ho hingerichtet wurden, weil sie eine Sonnenfinsternis unangekündigt vorübergehen ließen. In dem heiligen Buche der Inder, der Sûrya-Sid-dhânta, einem vom Sonnengotte selbst diktierten Lehrbuche der Astronomie, waren in Versen die Regeln genau angegeben, durch die man in durchaus mechanischer Weise, ohne jedes weitere Nachdenken, die Finsternisse vorausberechnen konnte. Neuerdings hat Kugler auf Keilschrifttafeln die Mondrechnung der Babylonier aufgedeckt, die eine ganz erstaunliche Genauigkeit aufweist. Die Angabe der Neumondszeiten, von denen

ja die der Finsternisse unmittelbar abhängen, stimmt durchschnittlich bis auf eine Stunde mit denen aus den modernen Tafeln für diese entlegene Zeit entnommenen. Der Monddurchmesser war bis auf wenige Bogensekunden in seiner wechselnden Größe richtig angewendet. Nach der oben angeführten, von den Griechen mit Saros bezeichneten Periode von 19,756 Tagen vermag auch heutzutage jeder mit astronomischen Rechnungen ganz Unbekannte wenigstens die Mondfinsternisse vorauszusagen, wenn er sich aus den Annalen die um jenes Zeitintervall zurückliegenden Finsternistage zusammenstellt. In der folgenden Tabelle ist dies für einige totale Finsternisse geschehen. Es sind darin zugleich die nur durch Addition der obigen Anzahl von Tagen folgenden Erscheinungen und schließlich die aus genauerer Rechnung erhaltene Zeit der Mitte der Finsternisse und ihre Größe in derselben Reihe nebeneinander gestellt; z. B. addiert man zum Datum des 31. Mai 1844, wo eine totale Mondfinsternis stattfand, 19,756 Tage, so kommt man auf den 3. Juli 1898, an welchem Tage wirklich eine, wenn auch nicht mehr ganz totale (11,2 Zoll) Finsternis eintrat.

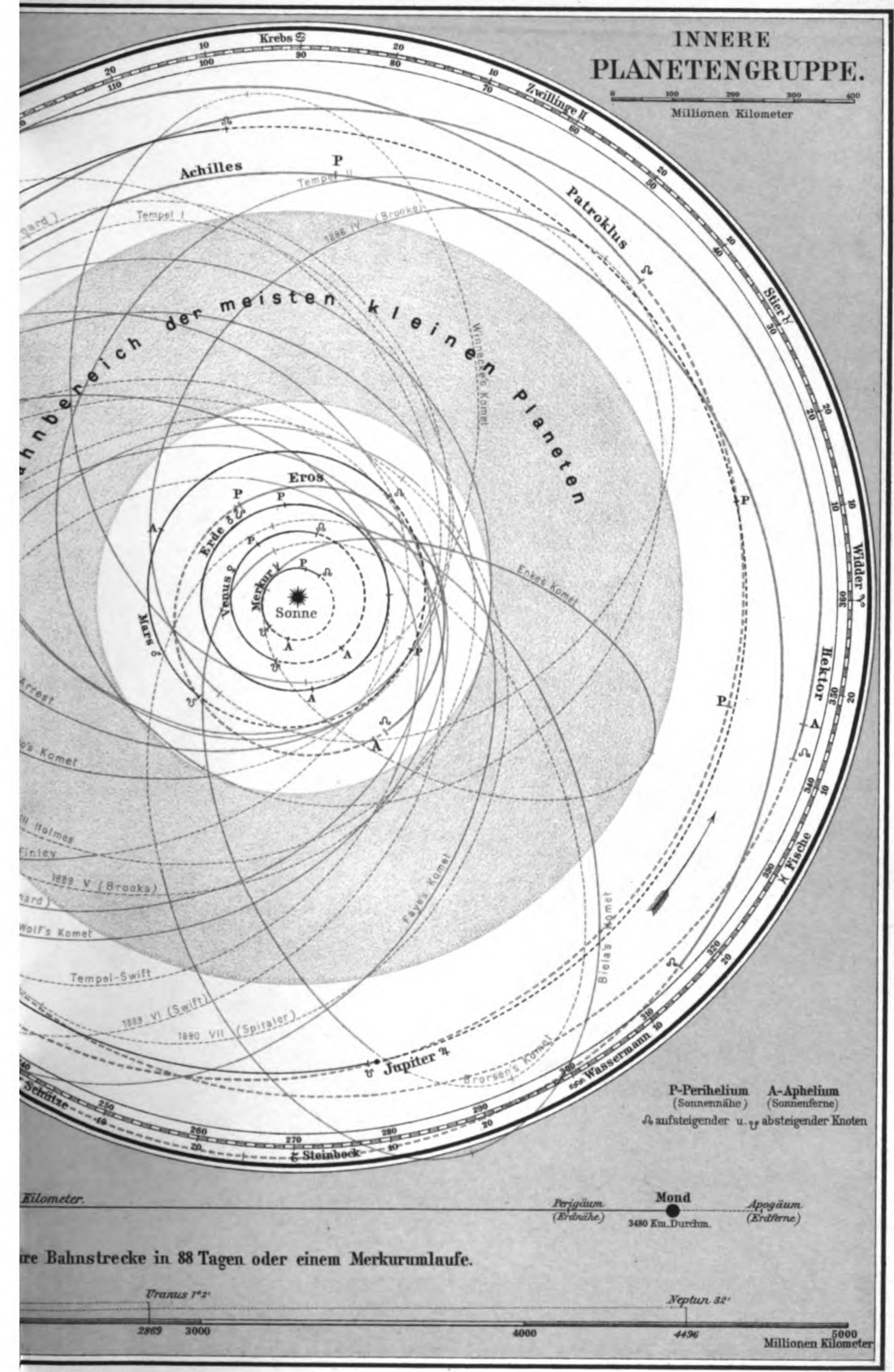
Mondfinsternisse.

Gregorianischer Kalender	Zeit der Mitte in M.E.Z.	Größe in Zollen	Gregorianischer Kalender	Zeit der Mitte in M.E.Z.	Größe in Zollen
1844: 31. Mai . . .	23^h 49^m	16,0	1898: 3. Juli . . .	22^h 17^m	11,2
1844: 25. November.	0 46	17,3	1898: 28. Dezember.	0 38	16,5
1845: 21. Mai . . .	16 55	13,3	1899: 23. Juni . .	15 17	18,0
1845: 14. November.	1 48	11,2	1899: 17. Dezember.	2 25	12,2
1848: 19. März . .	22 12	19,3	1902: 22. April . .	19 51	15,9
1848: 13. September	7 22	20,6	1902: 17. Oktober .	7 4	17,6
1852: 7. Januar . .	7 13	20,2	1906: 9. Mai . . .	8 48	19,7
1852: 1. Juli . . .	16 26	18,4	1906: 4. August . .	13 58	21,5
1855: 2. Mai . . .	5 6	18,9	1909: 4. Juni . . .	2 30	13,9
1855: 25. Oktober .	8 31	17,7	1909: 27. November.	9 57	16,5
1856: 20. April . .	10 8	8,7	1910: 24. Mai . . .	6 36	13,3
1856: 13. Oktober .	23 54	12,1	1910: 17. November.	1 21	13,7
1859: 17. Februar .	11 45	20,5	1913: 22. März . .	12 57	19,0
1859: 13. August . .	17 32	21,9	1913: 15. November.	13 47	17,3

In den fünfzehn Jahren von 1898—1913 tritt, wir wir aus der Tabelle sehen, nur zweimal der Fall ein, daß totale Finsternisse (17. Dezember 1899 und 24. Mai 1910) aus nicht völlig totalen gefolgert werden mußten. Im übrigen ist keine Finsternis durch diese einfache Rechnung übergangen worden. Die Zeitangaben zeigen, daß die korrespondierenden Erscheinungen innerhalb weniger Stunden zu derselben Tageszeit stattfinden, also auch, wie sich aus dem Folgenden ergibt, ungefähr in denselben Gegenden der Erde sichtbar sind. Diese rein mechanischen Methoden, die übrigens allen für die praktische Astronomie notwendigen Rechnungen zugrunde liegen, sind für die Finsternisse durch Tafelwerke (z. B. Schram: Tafeln zur Berechnung der näheren Umstände der Sonnenfinsternisse) so sehr vervollkommnet, daß man auch alle näheren Angaben derselben für jeden Ort der Erde durch einfache Addition nach Eingehen in die betreffenden Tafeln ohne Vorkenntnisse und in wenigen Minuten ermitteln kann. Der Berechnung der Tafeln selbst liegt zwar die feinste Theorie der Bewegungen der Gestirne zugrunde, aber man hätte sicherlich Tafeln von annähernd gleicher Schärfe zustande gebracht, auch wenn die theoretische Erklärung der betreffenden Bewegungen uns noch nicht bekannt und der tatsächlich erfolgte bedeutende Aufwand umfänglicher Berechnungen unterblieben wäre.


GRÖSSE DER PLANETEN
IM VERHÄLTNIS ZUR SONNE.
Die Sonnenscheibe gleich 1 Pariser Fuss (=325mm) Durchmesser angenommen.
Tausend
Kilometer.
Neptun
Uranus
Saturn mit dem Ringe
Jupiter
Mars
Mond
Erde
Venus
Merkur
Jungfrau
Waage
Skorpion
Verhältnis der Größe und Entfernung von Erde und Mond.
Erde
12756 Km. Durchm.
Mittlere Entfernung
Die mittlere Entfernung der Planeten von der Sonne und
Erde
Mars
Venus
Merkur
Sonne
Jupiter
Saturn
778
1000
2000
Bibliographisch

NSYSTEM.



Institut in Leipzig.

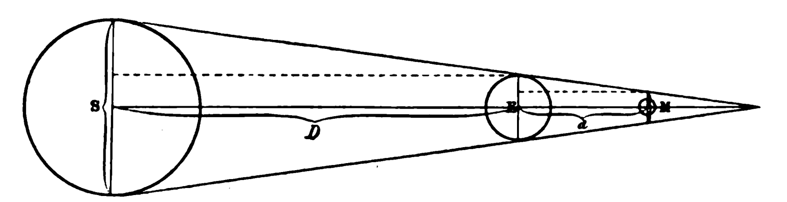
Wir können deshalb folgerichtig unsere Betrachtungen über die Finsternisse an diese Stelle setzen, bei welcher die Entwickelung unserer Kenntnisse über die Bewegungen und Stellungen der Himmelskörper zueinander noch nicht weiter gediehen ist, als der durch die Instrumente verschärfte Augenschein es lehrt, so daß wir Mond und Sonne um die Erde laufend denken, die Sonne als selbstleuchtenden, den Mond als dunkeln Körper. Zu dieser Erfahrung fügt die Beobachtung der Parallaxe dann nur noch die Erkenntnis hinzu, daß der Mond 60,28 Erdhalbmesser vom Mittelpunkt unseres Planeten entfernt ist, einen Durchmesser von 0,273 Teilen des Erddurchmessers hat, daß ferner aus der Vergleichung der Sonnenparallaxe von 8,80" mit der Parallaxe des Mondes sich das Verhältnis der mittleren Entfernungen beider Himmelskörper wie 1:387 stellt, und endlich, daß aus der Sonnenparallaxe und dem scheinbaren Durchmesser der Sonne ihr wahrer Durchmesser sich zu 109,1 Erddurchmessern ergibt. Wir wollen versuchen, aus diesen Daten die typischen Erscheinungen der Finsternisse zu erklären.

Vor allem fällt, abgesehen von der äußeren Form der Erscheinung, eine sehr wesentliche Verschiedenheit zwischen den Sonnen- und den Mondfinsternissen dadurch auf, daß die Form des Verlaufs der Sonnenfinsternisse an eine bestimmte Stellung des Beobachters auf der Erdoberfläche gebunden ist, während die Mondfinsternisse auf der ganzen Erde in der gleichen Form gesehen werden. Ist es richtig, was wir bisher aus vielen Umständen vermuteten, daß die Verfinsterungen des Mondes durch sein Eintreten in den Schatten der Erde hervorgerufen werden, so vermögen wir aus den bisher mitgeteilten Beobachtungsdaten deren nähere Umstände zu berechnen, und zwar in ganz einfacher Weise. Wir setzen zunächst voraus, daß uns durch das Studium der scheinbaren Bewegungen des Mondes mit Rücksicht auf alle ihre erkannten Ungleichheiten der genaue Moment des Eintrittes eines Vollmondes bekannt geworden ist, und nehmen ferner der Einfachheit wegen an, daß dieser Vollmond zugleich auch im Mondknoten stattfindet, so daß die Mittelpunkte von Sonne, Erde und Mond in einer geraden Linie liegen. Abweichungen von dieser Voraussetzung, die ja in der Regel vorliegen, weil der Mond schon etwas über oder unter seinem Knoten verfinstert werden kann, verwickeln den Fall; aber es ist ohne weiteres ersichtlich, daß die Berücksichtigung dieser Abweichungen keine prinzipiellen Schwierigkeiten bieten wird.

Um die näheren Umstände einer Mondfinsternis zu berechnen, brauchen wir außer dem Zeitmoment der Mitte der Totalität, die mit dem Moment des Eintritts des Vollmondes identisch ist, nur noch die halbe Dauer der Verfinsterung zu kennen. Diese ist erstens von der Größe des Erdschattens in der Entfernung des Mondes und zweitens von der Geschwindigkeit abhängig, mit welcher der Mond den Schatten durchmißt. Zur Bestimmung der Größe des Erdschattens bedienen wir uns der Figur auf S. 540: In ihr bedeuten S die Sonne, E die Erde und M den Mond. Wir sehen, daß die Strahlen der Sonne, während sie hinter der Erde sich kegelförmig zuspitzen, beiderseits am Monde vorüberziehen: der Mond liegt vollständig im Schattenkegel. Unsere Aufgabe ist es, den Durchmesser dieses Schattenkegels in der Entfernung des Mondes zu finden. Indem wir die in der Zeichnung gestrichelt angedeuteten Hilfslinien betrachten, ergibt sich aus den Anfangsgründen der Geometrie, daß die Differenz der Durchmesser von Sonne und Erde, dividiert durch die Entfernung D beider Himmelskörper voneinander, gleich der Differenz der Durchmesser des gesuchten Erdschattens mit dem der Erde selbst, dividiert

durch die Entfernung d des Mondes von der Erde, ist. Setzen wir in diese Gleichung die früher gegebenen Zahlen für die mittlere Entfernung der beiden Himmelskörper ein, so ergibt sich der Erdschatten gleich 0,721 des Erddurchmessers. Da nun der Durchmesser des Mondes gleich 0,273 Durchmesser der Erde ist, so ist der Erdschatten in der Entfernung des Mondes immer noch etwa dreimal größer als der Mond selbst, was mit den Beobachtungen im Einklang steht.

Wir haben nun noch das Verhältnis der Geschwindigkeit der Mondbewegung zu der des Erdschattens, mit anderen Worten der Sonne zu berechnen. Es handelt sich hier also um Bewegungen innerhalb der synodischen Periode. Wir bestimmen am besten gleich, innerhalb welcher Zeit der Mond seinen eigenen Durchmesser durchläuft. Das ergibt sich durch Multiplikation des synodischen Monats mit dem Monddurchmesser in Teilen eines Grades und Division durch 360; wir erhalten so 61,2 Minuten. So viel Zeit verstreicht also bei mittleren Entfernungsverhältnissen während einer zentralen Verfinsterung von ihrem Beginn überhaupt bis zum Beginn der Totalität und anderseits vom Ende der Totalität bis zum Ende der Finsternis überhaupt. Die Dauer der Totalität ergibt sich aber, indem wir diese 61,2 Minuten mit der Differenz zwischen dem Durchmesser des Erdschattens und dem des Mondes, in Teilen des letzteren ausgedrückt, multiplizieren, also mit (0,721—0,273) : 0,273. Wir finden hierdurch 100,5 Minuten, und die halbe Dauer der Totalität beträgt danach rund 50 Minuten.

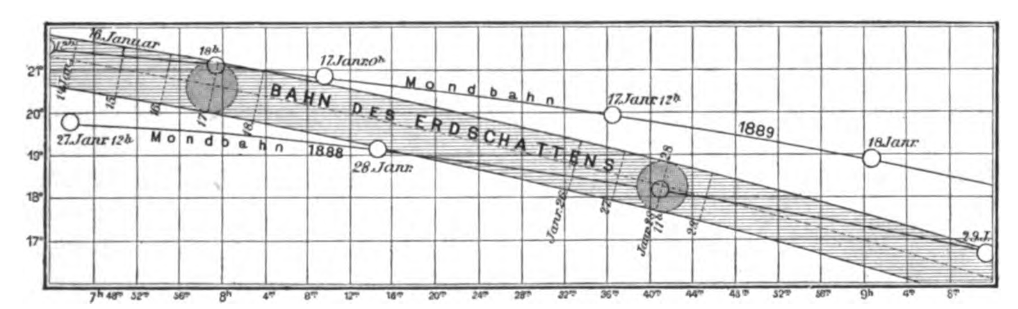


Bestimmung des Durchmessers des Erdschattens in der Mondentfernung. Vgl. Text, S. 539.

Dies ist alles, was wir brauchen, um die vier wichtigen Momente der Mondfinsternisse anzugeben. Ist der Vollmond z. B. genau um Mitternacht eingetreten, so fällt der Beginn der partiellen Finsternis auf 12 Uhr weniger 50 Minuten weniger 61 Minuten gleich 10 Uhr 9 Minuten; der Beginn der Totalität 61 Minuten später, also auf 11 Uhr 10 Minuten. Das Ende der Totalität findet um 12 Uhr 50 Minuten, das Ende der partiellen Finsternis um 1 Uhr 51 Minuten statt. Diese Zahlen gelten, wie gesagt, für mittlere Entfernungen; da aber sowohl Sonne wie Mond ihre Perigäen und Apogäen haben, so können diese Zeitangaben bei zentralen Verfinsterungen um 1—2 Minuten um die angegebenen Mittelwerte schwanken. In den meisten Fällen wird indes der Mond überhaupt nicht durch das Zentrum des Erdschattens gehen, sondern ihn etwas oberhalb oder unterhalb durchschneiden. Es hat natürlich auch dann keinerlei Schwierigkeiten, die geometrischen Beziehungen zu finden, durch die man den Weg des Mondes durch den Erdschatten für diesen Fall bestimmt. Ferner kann der Fall eintreten, daß der Mond so weit oberhalb oder unterhalb des Erdschattens vorbeigeht, daß sein Körper überhaupt nur teilweise darin eintaucht; dann bleibt also die Finsternis während ihrer ganzen Dauer partiell. Es braucht hier nur angedeutet zu werden, daß die an sich sehr bedeutende parallaktische Verschiebung des Mondortes keinen Einfluß auf den Eintritt der Mondfinsternisse haben kann, da diese Verschiebung, die doch nur die Folge einer perspektivischen Richtungsverschiedenheit der

Sehlinien für die Beobachter auf verschiedenen Punkten der Erde ist, für den Mond und den Erdschatten überall die gleiche sein muß. So ergibt es sich, daß die Momente der Mondfinsternisse für die ganze Erde die gleichen sind, also in unseren Uhrenangaben sich nur durch die Stundenunterschiede der Zonenzeiten voneinander unterscheiden, daß jedoch der Punkt des Himmels, in dem diese Verfinsterung eintritt, für jeden Ort der Erde um den Betrag des parallaktischen Unterschiedes verschieden ist. Auch die Größe der Mondfinsternisse wird in Zollen angegeben, doch so, daß bei totalen Finsternissen die Größe der ganzen vom Mond im Erdschatten durchlaufenen Sehne in Zwölfteln des Monddurchmessers angegeben wird. Da der Erdschatten etwas weniger als dreimal so groß ist als der Monddurchmesser, die Zeit der totalen Verfinsterung aber nur innerhalb der inneren Berührungen der Mondscheibe mit dem Erdschatten zu rechnen ist, so ergeben sich 22,8 Zoll für eine zentrale Finsternis als Maximum.

In untenstehender Abbildung ist zur Veranschaulichung der oben geschilderten Verhältnisse die Bahn des Erdschattens am Himmel, in dessen Mitte die Linie der Ekliptik



Mondörter und Erdschatten bei zwei Mondfinsternissen. Vgl. Text hier und S. 537.

verläuft, angegeben und gleichzeitig, wie die Bahn des Mondes diese Schattenbahn in zwei aufeinander folgenden Jahren kreuzt. 1888 ging der Mond am 28. Januar völlig durch den Erdschatten; er wurde total verfinstert. Der Knoten der Mondbahn, d. h. der Punkt, wo sich diese mit der gestrichelten Mittellinie des Erdschattens kreuzt, liegt nahe bei dem Orte des Zusammentreffens vom Mond und Erdschatten. Ein Jahr darauf (1889) hatte sich dieser Knotenpunkt schon wesentlich zurückbewegt. Er befindet sich noch etwas links außerhalb des Kärtchens. Der Mond streifte deshalb nur den Erdschatten am 16. Januar, so daß er nur partiell verfinstert wurde.

Ganz anders liegen die Verhältnisse bei den Sonnenfinsternissen. Bei diesen verdeckt der Körper des Mondes selbst die Sonne für unseren Beobachtungsstandpunkt. Da nun die perspektivische Verschiebung, die wir Parallaxe nennen, für verschieden entfernte Körper verschieden groß sein muß, der Mond aber uns 387mal näher steht als die Sonne, so verändert die Parallaxe den Anblick einer Sonnenfinsternis für jeden Standpunkt auf der Erdoberfläche. So sah man z. B. am 29. August 1886, nachmittags 3 Uhr 15 Minuten mittlerer Berliner Zeit, in gewissen Teilen des südlichen Afrika die Sonne total verfinstert, während sie um dieselbe Zeit in ganz Europa auf dem gleichen Meridian von ihrem Strahlenglanz auch nicht eine Spur einbüßte. Wir verstehen dies ohne weiteres, sobald wir die Wirkungsweise der Parallaxe begriffen haben. Für unser Beispiel ging die Linie der zentralen Verfinsterung durch den Meridian von Berlin etwa in einer

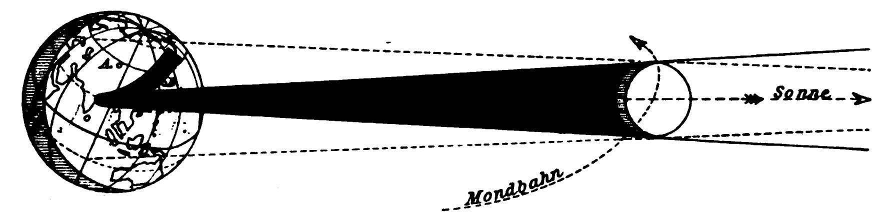
ſüdlichen Breite von 13°; der Breitenunterſchied zweier Beobachter, von denen der eine ſich in Berlin, der andere in der Zone der zentralen Verfinſterung, zugleich aber auf dem Meridian von Berlin befand, betrug alſo 65—66°. Die parallaktiſche Verſchiebung iſt nun, wie wir wiſſen, für 90 Grad Breitenunterſchied rund 57′, ſie geht proportional mit dem Sinus des Breitenunterſchiedes. Für den angeführten Breitenunterſchied beträgt deshalb die parallaktiſche Verſchiebung 52 Bogenminuten; es bedarf aber nur einer Verſchiebung von etwa 30 Minuten, dem Durchmeſſer des Mondes, um dieſen, wenn er vorher die Sonne völlig verdeckte, ganz von ihr zu entfernen.

Die Aufgabe, den Verlauf einer Sonnenfinſternis rechneriſch vorauszuſagen, verwickelt ſich hierdurch weſentlich gegenüber der Berechnung der Mondfinſterniſſe. In den Jahrbüchern muß man ſich meiſt darauf beſchränken, die Finſternis ſo darzuſtellen, wie ſie im Mittelpunkte der Erde geſehen werden würde, d. h. ihre *geozentriſchen Elemente* zu geben. Für beſtimmte Punkte der Erde kann immer nur eine beſondere Rechnung bei Zugrundelegung dieſer Elemente über die hier auftretenden Einzelheiten Kenntnis geben. Gewöhnlich enthalten die Jahrbücher dann noch eine Überſichtskarte wie die nebenſtehende für die Finſternis vom 30. Auguſt 1905. Wir ſehen auf dieſer Karte zunächſt eine ungefähr elliptiſch umgrenzte Zone, für welche die Finſternis ſich bei Sonnenaufgang ereignet; ihr liegt eine andere gegenüber, für welche die Erſcheinung bei Sonnenuntergang ſtattfindet; zwiſchen beiden liegt das Gebiet, in dem die Verfinſterung in ihrem ganzen Verlaufe geſehen werden kann, doch iſt ſie nur auf der verzeichneten Mittellinie total, zu beiden Seiten derſelben aber verdeckt der Mond nur einen Teil der Sonnenſcheibe, erzeugt alſo nur eine partielle Sonnenfinſternis. Auf der nördlichen und ſüdlichen Grenzlinie ſtreift der Mond die Sonnenſcheibe, ohne etwas von ihr zu verdecken. Während alſo eine totale Mondfinſternis überall auf der Erde, wo der Mond zu der betreffenden Zeit über dem Horizonte ſteht, als ſolche geſehen wird, iſt eine totale Sonnenfinſternis immer nur auf einem ganz ſchmalen Gebiet als ſolche zu beobachten.

Grenzen der Sonnenfinſternis vom 30. Auguſt 1905.

Die Breite der Totalitätszone iſt ſehr verſchieden. Es treten, wie wir wiſſen, ſelbſt zentrale Verfinſterungen der Sonne auf, bei denen alſo die Mittelpunkte von Sonne und Mond für einen beſtimmten Standpunkt auf der Erde genau zuſammenfallen, ohne daß die Finſternis dabei total wäre. Dies ſind die ringförmigen Finſterniſſe. Bei einer ſolchen erreicht der Schattenkegel, den der Mond nach ſich zieht, mit ſeiner Spitze überhaupt nicht

mehr die Erde. Im anderen Fall entspricht aber die Breite der Totalitätszone dem betreffenden Durchmesser des Schattenkegels. Wir können ihn auch für diesen Fall durch die nämliche Gleichung bestimmen, wie es vorhin bei Gelegenheit der Mondfinsternisse geschah. Wir dürfen jetzt aber nicht mehr mit mittleren Werten der Entfernungen der beiden Himmelskörper rechnen, sondern müssen die für den Augenblick der Finsternis wirklichen zu Hilfe nehmen. Die Mondparallaxe kann hierbei zwischen 61,4 und 53,9 Bogenminuten, der Mondhalbmesser zwischen 16′ 46″ und 14′ 43″, der der Sonne zwischen 16′ 16″ und 15′ 44″ schwanken. Nehmen wir einen extrem günstigen Fall, also eine Sonnenfinsternis an, die zur Zeit der Sonnenferne und der Mondnähe stattfindet, so erhalten wir den Durchmesser des Mondschattenkegels in der Entfernung des Erdmittelpunktes gleich rund 200 km. Für die Oberfläche der Erde vergrößert sich der Durchmesser, da wir uns dem Mondort näher befinden; der Querschnitt des Schattens kann hier bis auf 250 km steigen. Auf der Erdoberfläche wird wegen ihrer Kugelgestalt der Schattenwurf dagegen offenbar noch weiter verlängert, je schräger die Sonnenstrahlen



Weg des Mondschattenkegels über die Erdoberfläche.

auf die Erde fallen, d. h. je näher die Totalitätszone den Polen liegt. In unseren Breiten kann sie auf diese Weise eine Breitenausdehnung bis zu fast 400 km erreichen, wenngleich nur in extremen Fällen.

Die Dauer der Totalität hängt von diesem Durchmesser des Schattenkegels ab. Sie kann bis auf 8 Minuten steigen. Schematisch ist in der obenstehenden Zeichnung der Verlauf des Mondschattens (m, n, o) über die Oberfläche der umschwingenden Erde hin wiedergegeben. Die Totalität bei Sonnenfinsternissen dauert also sehr viel kürzere Zeit als bei den Mondfinsternissen; dagegen ist die Dauer der Partiellität keine wesentlich andere, weil auch bei zentralen Sonnenfinsternissen vom Augenblick des ersten äußeren Kontaktes der Scheiben von Sonne und Mond bis zum Eintritt der totalen, bezw. ringförmigen Finsternis die relative Bewegung des Mondes zur Sonne einen Monddurchmesser wie bei den Mondfinsternissen betragen muß. Die größte Dauer vom Beginn der Partiellität bis zum Eintritt der Totalität ist also auch hier 60 bis 61 Minuten. Auf unserer Zeichnung ist durch gestrichelte Linien die Grenze des Gebietes angegeben, in dem die Finsternis partiell sein muß. Man erhält sie, indem man vom unteren Rande der Sonne eine Linie nach dem oberen Rande des Mondes zieht und umgekehrt. Diese Zone bezeichnet dann zugleich das Gebiet des sogenannten Halbschattens. Auch bei Mondfinsternissen kommt dieser in Betracht, obgleich man in der Praxis wenig von ihm merkt.

Wegen des Einflusses unserer Stellung auf der Erdoberfläche auf die Erscheinung der Sonnenfinsternisse sind letztere für einen bestimmten Beobachtungsort viel seltener als die Mondfinsternisse, obgleich für die Erde überhaupt Sonnenfinsternisse zahlreicher sind

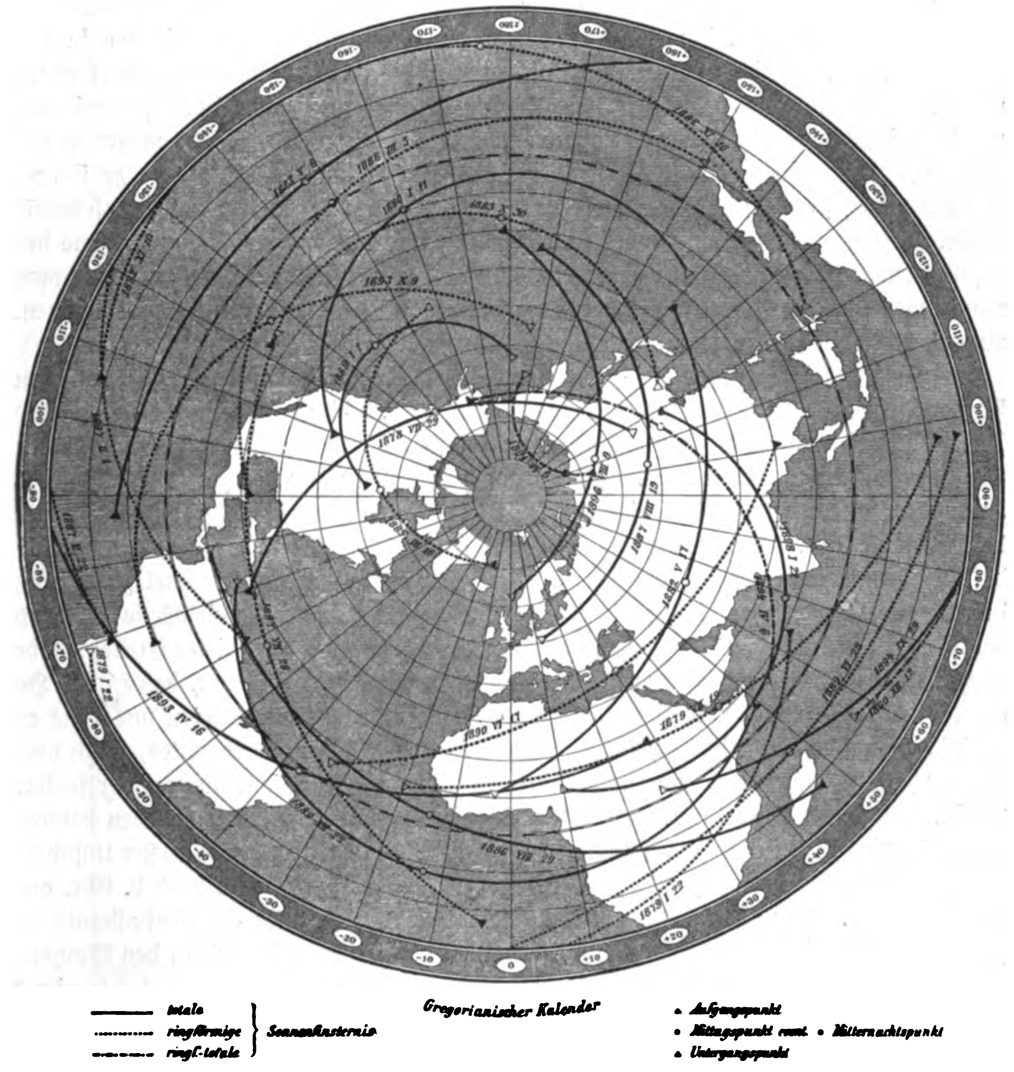
als letztere. Dies ist auch leicht zu verstehen, da eine Sonnenfinsternis eintritt, wenn der Schatten des Mondes irgendwo die Erdoberfläche trifft, während bei einer Mondfinsternis unser Trabant in ein Gebiet eintreten muß, das nur 0,72 Teile des Erddurchmessers, d. i. der Durchmesser des Erdschattens in der Entfernung des Mondes, umfaßt. Die Häufigkeit der Sonnenfinsternisse zu der des Mondes muß sich deshalb durchschnittlich verhalten wie die Flächen von Kreisen mit den Durchmessern 1 und 0,72. Ganz selten wird die Kurve der Zentralität einer Sonnenfinsternis wiederholt über einen bestimmten Ort der Erde hineilen. Innerhalb der einfachen Periode des Saros von 18 Jahren ereignen sich 41 Sonnenfinsternisse, dagegen nur 29 Mondverfinsterungen. Über ein und dasselbe Gebiet der Erdoberfläche aber streicht der Mondschatten nur etwa alle 200 Jahre einmal hin. Ein Blick auf die Abbildung auf S. 545 mag diese Verhältnisse illustrieren.

Auf dieser Abbildung sind die Zentralitätszonen der Finsternisse vom 15. März 1877 bis 22. Januar 1898 eingezeichnet. Wir sehen, daß innerhalb dieser Zeit mitteleuropäisches Gebiet überhaupt nur einmal, am 19. August 1887, vom Mondschatten gestreift wurde. Erst neun Jahre später, am 9. August 1896, berührte der Mondschatten wieder nicht allzu entfernt gelegene Gebiete des nördlichsten Norwegen. Die nächste ringförmige Sonnenfinsternis wird in Deutschland am 17. April 1912, die nächste totale am 7. Oktober 2135 stattfinden. Nahezu an der Grenze zwischen Süddeutschland und Österreich, bezw. der Schweiz, wird die Totalitätszone am 11. August 1999 hinziehen. Vor 1887 fand die letzte totale Sonnenfinsternis in Deutschland am 8. Juli 1842 statt, wenn man von der am 28. Juli 1851 eingetretenen absieht, bei welcher der Mondschatten die äußersten Ostmarken Deutschlands streifte. Eine andere war am 19. November 1816 bei uns zu sehen; damals ging der Mondschatten ziemlich nahe bei Berlin vorüber. Nehmen wir selbst ein so weites Gebiet wie Nordamerika, so zeigt unsere Karte, daß innerhalb der 20 Jahre, für die sie die Zentralitätskurven enthält, nur dreimal Gelegenheit war, dort eine zentrale Sonnenfinsternis zu beobachten, und zwar am 29. Juli 1878, am 11. Januar 1880 und am 1. Januar 1889.

Das Werk, aus dem wir diese Karte entnehmen, Oppolzers „Kanon der Finsternisse“, gibt genaue zahlenmäßige Auskunft über 8000 Sonnen- und 5200 Mondfinsternisse, die zwischen den Jahren 1207 v. Chr. und 2163 n. Chr. stattgefunden haben, bezw. stattfinden werden.

Durch dieses Werk wurde namentlich auch die Berechnung älterer Finsternisse erleichtert, deren Untersuchung einerseits für die Geschichtsforschung, anderseits für die subtilsten Fragen der theoretischen Astronomie von höchster Bedeutung geworden ist. Schon früher waren deshalb Versuche gemacht worden, die ungeheure Arbeit zu bewältigen. So hatte gegen Ende des 18. Jahrhunderts der astronomische Rechner Pingré alle Finsternisse berechnet, die zwischen 1000 v. Chr. und 2000 n. Chr. in zivilisierten Gegenden eingetreten sind, bezw. eintreten müssen. Neuestens ist der vornehmlich für die klassische Epoche, also die historischen Finsternisse der alten Zeit, in Betracht kommende Teil des Oppolzerschen Kanons, nämlich von 900 v. Chr. bis 600 n. Chr., durch eine große Arbeit von F. K. Ginzel ersetzt worden („Spezieller Kanon der Sonnen- und Mondfinsternisse für das Ländergebiet der klassischen Altertumswissenschaften“). Sie ergänzt Oppolzers Kanon, indem sie für jede einzelne Finsternis, die während des genannten Zeitraumes innerhalb eines Areales von 350 bis 50 Grad östl. Länge v. Gr. und 30—50 Grad nördl.

Breite vorgefallen ist, eingehende Nachweise über deren Sichtbarkeit beibringt und auf die Ginzelsche Korrektion der säkularen Akzeleration, auf die wir noch zu sprechen kommen, Rücksicht nimmt; ferner enthält die Arbeit eine neue kritische Bearbeitung sämtlicher **historischen** Finsternisse des obengenannten Zeitraumes.



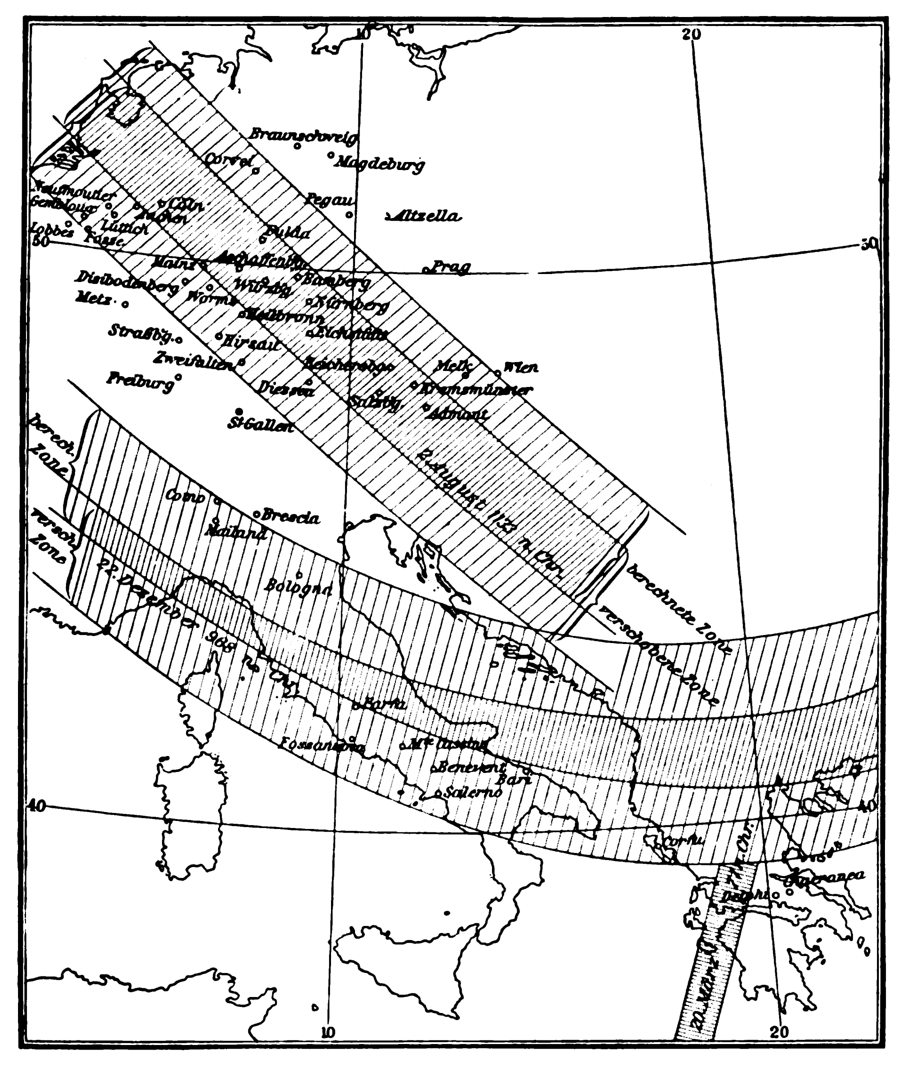
Lage der Zentralitätskurven der Sonnenfinsternisse zwischen dem 15. März 1877 und dem 22. Januar 1898. Aus Oppolzers „Kanon der Finsternisse“. Vgl. Text, S. 544.

Da der Eintritt einer totalen Verfinsterung der Sonne zu allen Zeiten den tiefsten Eindruck auf die Gemüter der Menschen ausübte, finden wir in den Annalen aller Völker solche Ereignisse verzeichnet. Sind in diesen Aufzeichnungen die Orte angegeben, an denen die Finsternis total gesehen wurde, und zugleich ihre Zeit in einer Weise, aus der das inzwischen bis zur Gegenwart verflossene Zeitintervall mit genügender Sicherheit festzustellen ist, so gewinnen wir dadurch einen sehr wertvollen Anhaltspunkt für den

wahren Ort des Mondes und der Sonne am Himmel zu jener entlegenen Zeit. Denn aus dem Vorangegangenen erhellt, daß bei der verhältnismäßig geringen Breite der Totalitätszone ihre Lage auf der Erdoberfläche sehr genauen Aufschluß über die kosmischen Lageverhältnisse von Sonne und Mond zu geben vermag. In den meisten Fällen wird zwar zunächst die umgekehrte Aufgabe zu erledigen sein, nämlich die aus der bekannten Bewegung der beiden Himmelskörper berechneten Sonnenfinsternisse mit den in den Historienbüchern geschilderten zu identifizieren, um die in einer uns völlig unbekannten oder doch ungenügend bekannten Zeitrechnung angegebene Epoche der Finsternis auf unsere Zeitrechnung zurückführen zu können. Ist es dann gelungen, aus mehreren Erscheinungen die gleiche Reduktion der einen auf die andere Geschichtsepoche zu finden, so kann man sicher sein, daß die noch vorhandenen Fehler der angewandten Tafelwerke keinen Einfluß auf die Untersuchung gehabt haben, und kann nun mit Zuhilfenahme des gefundenen Resultates die verflossene Zeitspanne genauer bestimmen; dann endlich vermag man umgekehrt die Korrektionen des Tafelwerkes aus den Finsternissen zu berechnen. An folgenden Beispielen mag dies erläutert werden.

Ein klassisches Buch der Chinesen, der „Schu-king", enthält folgende Stelle: „Im fünften Regierungsjahre des Kaisers Tschung-khang warfen die Geschlechter Hi und Ho ihre Tugend über den Haufen. Sie versenkten sich unordentlich in Wein, verwirrten das Amt, trennten sich von der Rangstufe. Sie störten zum ersten Male die Jahresrechnung des Himmels, sie setzten weit hintan ihr Amt. Da, im letzten Monate des Herbstes, stimmte der Neumond um 7—9 Uhr morgens nicht überein im Gemache (ein chinesisches Sternbild, daß etwa unserem Skorpion entspricht). Der Blinde brachte die Trommel zu Ohren, der sparende Mann jagte einher, die gemeinen Menschen liefen. Die Geschlechter Hi und Ho befanden sich in ihrem Amte, sie hörten und wußten nichts." Aus dieser Stelle, welche nach chinesischer Rechnung ganz genaue Zeitangaben enthält, geht hervor, daß Hi und Ho als kaiserliche Astronomen in sehr saumseliger Weise ihres Amtes walteten und, wie es scheint, einmal den Eintritt des Neumondes, d. h. den Beginn des Monates, falsch verkündet hatten, was durch eine unerwartet hereinbrechende Sonnenfinsternis offenbar wurde. Hierdurch wurde aber die größte Verwirrung im gesamten Volksleben hervorgebracht. Aus historischen Untersuchungen hatte sich, freilich mit ziemlich großer Unsicherheit, ergeben, daß der Kaiser Tschung-khang die Regierung im Jahre 2158 v. Chr. angetreten hatte. Man hatte also um diese Zeit herum nach einer Sonnenfinsternis zu suchen, die in der damaligen Hauptstadt des Reiches der Mitte, Ngan-Yi, in den Morgenstunden eines Herbsttages eintrat, während die Sonne sich im Sternbilde des Skorpions oder doch in der Nähe desselben befand. Oppolzer hat nun besondere Untersuchungen über diese Sonnenfinsternis, die erste, deren in den Annalen der Völker überhaupt Erwähnung geschieht, angestellt. Er entdeckte innerhalb der Zeit von 2193—1914 v. Chr. nur eine, die der Überlieferung entsprechen könnte; sie fand am 22. Oktober 2137 v. Chr. statt. Sie war allerdings in der betreffenden Gegend nicht total, aber es wurden doch drei Viertel der Sonnenscheibe verdunkelt, was den auf solche Dinge ungemein aufmerksamen Chinesen wohl genügend auffällig sein konnte, um den Fehler der Jahresrechnung daraus zu erkennen. Da nach der zitierten Mitteilung die Finsternis im fünften Regierungsjahre Tschung-khangs stattfand, so mußte dieser Kaiser nach den astronomischen Rechnungen seine Regierung im Jahre 2141 v. Chr. angetreten haben, d. h. 17 Jahre

später, als es aus den unsicheren historischen Untersuchungen hervorging. Wir haben also die chinesische Ära um 17 Jahre zu korrigieren. Indessen möge ausdrücklich bemerkt werden, daß die Untersuchungen Oppolzers hier nur als ein Beispiel für die Methode wiedergegeben sind, durch die man zu Verbesserungen historischer Zeitrechnungen gelangen kann.



Korrigierte Zentralzonen alter Sonnenfinsternisse. Vgl. Text, S. 548.

In neuerer Zeit hat Kühnert in Wien auf Grund sehr eingehender Durchforschung der chinesischen Annalen doch wieder Zweifel an der richtigen Deutung der betreffenden Stelle aufgeworfen, wodurch die obigen Schlußfolgerungen über die Zeit jener vier Jahrtausende zurückliegenden Finsternis ins Schwanken gerieten.

Weit sicherer gestaltete sich dagegen die Untersuchung in betreff einer Sonnenfinsternis, von der Plutarch wie folgt berichtet: „Daß von allen Erscheinungen an der Sonne nichts dem Sonnenuntergange so ähnlich ist als eine Sonnenfinsternis, gebt ihr mir zu,

wenn ihr euch der neulichen Zusammenkunft von Sonne und Mond erinnert, die, nachdem sie gleich nach Mittag begonnen hatte, viele Sterne an vielen Punkten des Himmels sichtbar machte und der Luft eine Färbung gleich der Dämmerung verlieh." Man weiß von Plutarch, daß er die größte Zeit seines Lebens in seiner Vaterstadt Chäronea zubrachte. Von allen Finsternissen aber, die sich während der Lebenszeit des griechischen Schriftstellers ereigneten, erfüllte nur die vom 20. März 71 n. Chr. die gegebenen Bedingungen. Die Zentralitätszone aber verläuft nach der Rechnung immer noch etwas westlich von Chäronea, wie man aus der Karte, S. 547, unten rechts, ersieht. Diese Finsternis ist eine den wenigen der alten, die sich wegen der Sicherheit ihres Beobachtungsortes zur Verbesserung der Mondtheorie vorzüglich eignen.

Diese Abweichung zwischen Überlieferung und Rechnung zugleich mit einer Anzahl ähnlicher Abweichungen bei Sonnenfinsternissen aus dem Mittelalter hat Ginzel benutzt, um eine sehr merkwürdige Eigenschaft der Mondbewegung eingehender zu studieren, die bereits von Halley vermutet wurde, und deren Vorhandensein sich inzwischen völlig bestätigte, obgleich eine genügende Erklärung dafür noch nicht gefunden worden ist. Es ist dies die sogenannte Mondakzeleration, von der im voraus an dieser Stelle die Rede sein mag, noch ehe wir die übrigen Teile der Mondbewegung ihrem Wesen nach erklärt haben. Wir werden später sehen, daß von allen Bewegungserscheinungen der Himmelskörper die sogenannte mittlere Umlaufszeit am wenigsten veränderlich ist. Auch theoretisch werden wir diese Unveränderlichkeit als eine notwendige Folge der Naturgesetze erkennen. Der Mond erfüllt diese Forderung nicht vollständig; seine mittlere Umlaufszeit beschleunigt sich, wenn auch nur so wenig, daß er am Ende jedes Jahrhunderts sich an einer Stelle befindet, an der er sich erst 20 Sekunden später befinden sollte. Diese Differenz ist an sich allerdings zu gering, als daß sie etwa durch die veränderten Eintrittszeiten der Sonnenfinsternisse selbst in den entlegensten Zeiten des Altertums ermittelt werden könnte, denn der Unterschied beträgt in einem Jahrtausend erst $3^1/_3$ Minuten, und Zeitangaben von solcher Genauigkeit lieferte frühestens das 18. Jahrhundert. Durch den früheren Eintritt der Sonnenfinsternisse aber wird der Weg des Mondschattens über die Erde hin sofort merklich verschoben. Wenn nämlich der Mond eher die Ekliptik durchschneidet, als es ohne die Beschleunigung seiner mittleren Bewegung geschehen würde, so ist die Sonne in ihrer Bahn weniger weit vorgeschritten, und der Mondschatten trifft auf einen westlicher gelegenen Punkt, da die jährliche Bewegung der Sonne von Westen nach Osten vor sich geht. Findet die Finsternis zwischen dem Winter- und Sommersolstitium statt, während also die Sonne beständig weiter nach Norden emporsteigt, so wird sie infolge der Mondakzeleration bereits in einem südlicheren Punkt ihrer Bahn verfinstert, der Schatten fällt also etwas südlicher auf die Erdoberfläche. In der anderen Jahreshälfte dagegen bleibt der Schatten nördlicher, als er sollte. Noch manche andere Einflüsse treten hinzu, die aus der Lage der Zentralitätszone die sehr geringe Größe der Mondbeschleunigung ermitteln lassen. Die Karte auf S. 547 mag eine solche Korrektionsarbeit erläutern. Von den eingezeichneten Orten gaben die Annalen Mitteilungen über die betreffende Finsternis; die berechneten Zonen der beiden Finsternisse lagen nach diesen Mitteilungen beide zu nördlich. Sie mußten, um einerseits den Mitteilungen Genüge zu tun und anderseits mit der Gesamtheit der übrigen untersuchten Finsternisse im Einklang zu bleiben, in der auf der Zeichnung angegebenen Weise verschoben werden. Als Resultat der Untersuchungen

einer Reihe von so verschobenen Zentralitätszonen ergaben sich dann gewisse empirische Korrektionen der betreffenden Tafelwerke.

Der Wert der ihrem Wesen nach noch immer geheimnisvollen Mondakzeleration, deren Deutung mit den interessantesten Fragen des Haushaltes unseres Weltgebäudes im Zusammenhange steht, wurde dadurch immer genauer festgelegt. Wir können indes diese Fragen hier nur streifen. Zunächst ist zu bemerken, daß die entdeckte Differenz von 20 Sekunden auch ebensogut ein Fehler des benutzten Zeitmessers wie des Mondes sein kann. Dieser Zeitmesser ist für uns die Erde durch ihre Umdrehung um die Polarachse geworden. Könnte nicht diese himmlische Uhr, auf die wir so volles Vertrauen setzen, diese 20 Sekunden im Jahrhundert verlieren? Ihre Präzision wäre dann immer noch auf das höchste bewundernswert gegenüber unseren menschlichen Zeitmeßinstrumenten. Jede folgende Umdrehung der Erde würde nur um den 51billionsten Teil länger sein als die vorangegangene.

Wäre diese Erklärung richtig, so müßten auch die Bewegungen aller übrigen Himmelskörper einen entsprechenden Fehler gegen die Theorie zeigen. Da aber der Weg, den alle übrigen Himmelskörper in 20 Sekunden zurücklegen, so klein ist, daß er seit dem Beginn unserer Präzisionsbeobachtungskunst als Fehler noch nicht nachweisbar wurde, so könnte die Erklärung wohl zu Recht bestehen. Nur die ihrem Hauptkörper so ungemein nahen Monde des Mars und der fünfte Jupitermond bewegen sich so schnell, daß durch ihre fortgesetzte Beobachtung in nicht allzu ferner Zukunft vielleicht eine Bestätigung dafür gefunden werden könnte, ob in der Tat unsere Tagesdauer sich beständig verlängert. Wir werden später sehen, welche Gründe für diese Meinung aus der allgemeinen Entwickelungsgeschichte der Gestirne herzuleiten sind. Eine Ursache jedoch, die wenigstens einen Teil, sicher nicht die ganze vorliegende Differenz zu erklären vermag, ist uns schon an dieser Stelle verständlich. Wir finden sie in dem beständigen *Regen von Meteorstaub*, der aus dem Weltall auf unsere Erde herabströmt und, sobald er in der Atmosphäre seine ursprüngliche Bewegung einbüßt, um fortan die der Erde mitzumachen, letzterer einen Teil ihrer lebendigen Kraft raubt, mit der sie ihren Körper um sich selbst wälzt. Es muß eben immer mehr Masse an der Umschwungsbewegung teilnehmen. Dieser kosmische Staub (s. auch S. 245 u. f.) spielt jedenfalls im himmlischen Haushalt mit seinen größeren und größten Partikeln, den Sternschnuppen und Meteoriten, eine weit wichtigere Rolle, als man heute noch vermutet. Wir haben nachher noch davon zu sprechen.

---

7. Die Verfinsterungen der Monde der Planeten. Die Bedeckungen und Vorübergänge. Die Sonnenparallaxe.

Verfinsterungen, wie wir sie hier bei Sonne und Mond näher betrachtet haben, beobachtet man ebenso an den *Planeten*, die von Monden umkreist werden, insbesondere beim Jupiter, worauf wir schon öfter aufmerksam zu machen hatten. Die Phasen der Planeten haben uns bereits bewiesen, daß diese dunkle Körper sind wie die Erde. Sie müssen also auch Schattenkegel hinter sich werfen, deren Dimensionen wir ebenso leicht berechnen können wie die des Erdschattenkegels, vorausgesetzt, daß wir die



wahre Größe und Entfernung des betreffenden Planeten von der Sonne kennen. Haben wir dann die Bewegung seiner Satelliten studiert, so vermögen wir die in jenen fernen Systemen stattfindenden Verfinsterungen in derselben Weise vorauszuberechnen wie für Sonne, Erde und Mond. In der Tat benutzen wir solche Vorausberechnungen für die Jupitermonde schon lange zu nautischen Zwecken (s. S. 514). Wir verstehen es jetzt besser, weshalb diese Verfinsterungen als Signale für Längenbestimmungen geeignet sind, da sie, auf gleiche Weise erzeugt wie die Verfinsterungen unseres Mondes, ebenfalls für jeden Standpunkt in demselben physischen Momente stattfinden müssen.

Allerdings tritt für die Jupitermonde hier eine gewisse Einschränkung ein, die zu einem sehr interessanten Resultat geführt hat. Schon im Jahre 1675 hatte nämlich der Däne Olaf Römer bemerkt, daß die Eintrittszeiten jener Verfinsterungen einer jährlichen Periode unterworfen sind, indem alle vier damals bekannten Jupitermonde um ein und denselben Betrag von rund 16½ Minuten später verfinstert wurden (Römer hatte zuerst den zu großen Wert von 22 Minuten hierfür gefunden), als es die Rechnung ergab, wenn sich Jupiter in Konjunktion mit der Sonne befindet, gegenüber den betreffenden Zeiten bei seiner Opposition. Nun wissen wir, daß die scheinbare Veränderung des Planetendurchmessers nur eine Folge der veränderten Entfernung von uns sein kann. Wir werden aber bald Gelegenheit haben, diese verschiedenen Entfernungen noch auf andere Weise, als wir sie bisher aus der Verfolgung der veränderlichen Durchmesser ableiteten, genauer auszumessen, und dann finden, daß der Unterschied zwischen Konjunktion und Opposition zur Sonne ca. 300 Millionen km beträgt. Römer vermutete sofort, daß die Verzögerung des Eintrittes der Finsternisse bei der größeren Entfernung des Planeten nur daher kommen könnte, daß das Licht eine gewisse Zeit braucht, um diesen Entfernungsunterschied zu durcheilen. Es würde also aus der Beobachtung der Verfinsterungen der Jupitermonde folgen, daß das Licht in einer Sekunde 300,000,000 : (16,5 × 60), also rund 300,000 km durchläuft, ein Resultat, das bekanntlich durch physikalische Versuche völlige Bestätigung gefunden hat. Wir haben also nicht nur für unsere Berechnungen jener Finsternisse, sondern auch für alle anderen astronomischen Ereignisse diese Lichtzeit zu berücksichtigen, wenigstens für alle Ereignisse und Bewegungen an Körpern, deren Entfernung von der Erde wir kennen. Auch bei den Sternpaaren, deren Entfernung allerdings unbekannt ist, deren Entfernungsdifferenzen aber während ihrer Bahnbewegung durch das Spektroskop oder auf anderem Wege bekannt geworden sind, berücksichtigen wir die Lichtzeit. Im Planetensystem geschieht dies gewöhnlich in der Weise, daß man das Zeitintervall, das der Lichtstrahl auf seinem Wege von dem Himmelskörper bis zu uns braucht, von der beobachteten Zeit der betreffenden Erscheinung oder Stellung des Himmelskörpers abzieht. Man reduziert also alle Beobachtungen auf den Moment des Abganges des Lichtstrahls von dem Himmelskörper.

Auch Sonnenfinsternisse finden im System des Jupiter statt, und wir können sogar aus der Entfernung den Verlauf der Erscheinung mit viel größerer Anschaulichkeit verfolgen, als es uns eine Sonnenfinsternis gestattet. Wir sehen den Schatten des Jupitermondes über die Oberfläche des Planeten hinziehen und die Lage der Totalitätszone auf diese Art bezeichnen (siehe die beigeheftete farbige Tafel, auf die wir noch später zurückkommen; sie zeigt den aufgehenden Jupiter mit dem Schatten eines seiner Monde). Da wir den verfinsternden Mond gleichfalls sehen, können wir die Lage des Schattenkegels im Raume ohne weiteres erkennen. Je nachdem der Planet vor oder nach seiner Opposition sich befindet,



ANBLICK DES PLANETEN JUPITER VON EINEM IDEALEN STANDPUNKT AUF EINEM SEINER MONDE.

Originalbild von *W. Kranz*

liegt der Schattenwurf östlich oder westlich vom verdunkelnden Körper. Bald tritt also der Satellit für unseren Standpunkt vor die Jupiterscheibe, bevor sein Schatten die Planetenoberfläche trifft, bald geht bei entgegengesetztem Sonnenstande der Schatten dem Monde voraus. Entsprechend finden die Verfinsterungen der Monde selbst östlich oder westlich vom Jupiter statt.

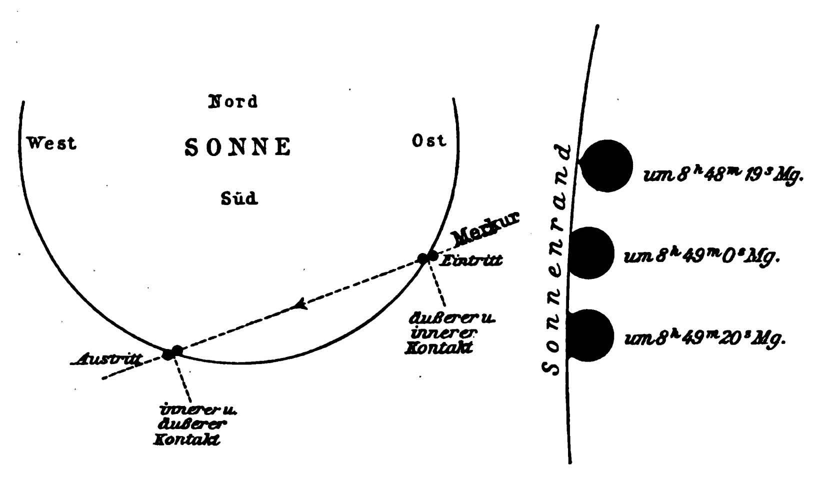
Im weiteren Sinne sind zu den Verfinsterungen die Vorübergänge und Bedeckungen der Himmelskörper zu rechnen, von denen wir im Jupitersystem fast täglich einige beobachten können. Von den Vorübergängen der Trabanten und den eigentümlichen Erscheinungen, die dabei gelegentlich hervortreten, haben wir bereits im ersten Hauptteil (S. 165) gesprochen. Wie diese und die Bedeckungen und Okkultationen durch die kreisenden Bewegungen der Trabanten sich erklären, ist unmittelbar einzusehen. Und noch weiter können wir hinausgreifen, um in den unermeßlichen Gebieten der Fixsternwelt denselben Erscheinungen zu begegnen, die das Menschengeschlecht seit uralten Zeiten in engste Mitleidenschaft gezogen haben. Wir haben schon bei Gelegenheit unserer Betrachtungen über die Doppelsternbewegungen und die Erscheinungen gewisser Gruppen von veränderlichen Sternen erkannt, daß sich diese durch Vorübergänge und Verfinsterungen erklären lassen, von genau derselben Art, wie wir sie an Sonne, Mond und anderen Körpern unserer Planetenwelt beobachten.

Auch die Bedeckungen von Fixsternen durch den Mond gehören in dieses Kapitel. Bei der Fülle der Sterne und der im Verhältnis bedeutenden scheinbaren Größe des Monddurchmessers finden solche Sternbedeckungen täglich statt; doch sind in der Regel die betreffenden Sterne so klein, daß sie in der Nähe des beleuchteten Mondrandes schon durch seine überstrahlende Wirkung verschwinden; nur ihr Wiedererscheinen, bezw. Verschwinden am dunkeln Rande des Mondes wäre zeitweilig wahrzunehmen. Solche einseitige Beobachtung hat jedoch für die Aufgaben der Astronomie wenig Wert, insbesondere auch, da die Orte dieser kleinen Sterne nicht genau genug bekannt zu sein pflegen, um aus der Beobachtung einen Schluß auf eine etwaige Korrektion des Mondortes ziehen zu können. Die Bedeckungen der helleren Sterne werden dagegen eifrig beobachtet. Von Sternen erster Größe können selbstverständlich nur die in der Nähe der Ekliptik befindlichen verdeckt werden; es sind dies Aldebaran im Stier, Regulus im Löwen, Spica in der Jungfrau und Antares im Skorpion. Die Ein- und Austrittszeiten für Sternbedeckungen sind ebenso wie bei den Sonnenfinsternissen für jeden Ort der Erde verschieden, weil infolge der parallaktischen Verschiebung des Mondes sein Ort unter den Sternen sich für verschiedene Standpunkte verändert. Es kann also für einen Ort der Mond in zentraler Richtung vor einem Sterne vorüberziehen, während er ihn für andere Orte überhaupt nicht bedeckt. Die maximale Dauer einer solchen Bedeckung ist gleich der Zeit, die der Mond braucht, um in seiner Umlaufsbewegung seinen Durchmesser zu durchlaufen; diese Zeit beträgt 60—61 Minuten.

Daß die Planeten gelegentlich hinter und vor die Sonne treten können, ist uns schon bekannt. Da ihre Bahnen am Himmel, die wir im nächsten Kapitel näher kennen lernen werden, gleich der Bahn des Mondes Neigungen gegen die Ekliptik haben, so finden die Vorübergänge und Bedeckungen der Planeten nur selten statt. Hinter der Sonne können alle Planeten vorübergehen; diese Erscheinungen sind indes wegen des ungemein großen Glanzes des Tagesgestirnes nicht zu beobachten, da hier die Planeten bekanntlich stets als hell beleuchtete volle Scheiben erscheinen. Anders ist es mit den Vorübergängen vor der

Sonne, die nur bei Merkur und Venus vorkommen. Diese Planeten wenden uns dabei ihre Nachtseite zu und erscheinen deshalb vor der Sonnenscheibe als sehr deutlich wahrnehmbare schwarze Scheiben; die der Venus ist dann sogar mit bloßem Auge sichtbar, wenn man sich zur Abblendung der Sonne eines Rauchglases bedient.

Der letzte Merkurdurchgang fand am 14. November 1907 statt, der nächste ereignet sich am 7. November 1914. Zuerst wurde ein solcher von Pater Cysat in Innsbruck am 6. Dezember 1631 beobachtet. Die Erscheinungen kehren in einer Periode von 46 Jahren derartig wieder, daß innerhalb dieser Periode sechs Durchgänge stattfinden. Diese Wiederkehr hat dieselbe Ursache wie die Periode des Saros bei den Mondfinsternissen. Die Beobachtung der Merkurdurchgänge dient namentlich der Verbesserung unserer Kenntnisse über die Bewegung dieses Planeten. Ebenso wie bei Sonnenfinsternissen, denen diese Erscheinung analog ist, unterscheidet man für die Beobachtung vier Momente, den äußeren und inneren Kontakt beim Ein- wie Austritt. Die äußeren Kontakte sind nur unsicher zu beobachten, weil man den Planeten vorher in der Nähe der Sonne nicht sehen kann, sondern erst das vollendete Ereignis feststellt, wenn schon ein merkliches Stück der Sonnenscheibe verdeckt ist. Der Beobachtung der inneren Kontakte aber stellte sich eine andere Schwierigkeit entgegen, die in dem Auftreten des sogenannten schwarzen Tropfens oder Bandes besteht. Am besten wird die Erscheinung durch die obenstehende Zeichnung erläutert, die den Austritt des Merkur bei Gelegenheit des Durchganges vom 7. Mai 1878 darstellt, wie ihn Tebbutt in Neusüdwales beobachtet hat. Bei der Annäherung Merkurs an die Sonne sah man plötzlich seine schwarze Scheibe sich gegen den Sonnenrand verlängern, indem er eine feine Spitze bis zu ihm vorschob, die sich bald zu einem Bande verbreiterte. Erst 10—20 Sekunden später trat dann der wirkliche Kontakt der beiden Scheiben scheinbar ein.



Merkurdurchgang vom 7. Mai 1878. Tropfenbildung beobachtet von Tebbutt in Neusüdwales.

Es fragte sich nun, welches der eigentliche Moment des wahren Kontaktes gewesen sei; war die Erscheinung durch die bekannte Überstrahlung (Irradiation) allein zu erklären, so mußte offenbar das erste Auftreten des schwarzen Tropfens den wahren Moment des Kontaktes bezeichnen, weil der Tropfen dann bewies, daß hier der Sonnenrand wirklich bedeckt und deshalb die Irradiation aufgehoben war. Diese Erklärung war wohl von vornherein die wahrscheinlichste; da indes einige Beobachter überhaupt nichts von diesem schwarzen Tropfen wahrnehmen konnten, so blieb sie wieder fraglich. Es wurde über diese Frage,

namentlich auch, weil sie für die sehr wichtigen Venusdurchgänge, die wir sogleich zu besprechen haben, von Bedeutung war, sehr viel gestritten und experimentiert. Namentlich haben sich die Franzosen André und Angot eingehend mit der Angelegenheit beschäftigt und die Tropfenbildung endgültig auf eine Diffraktionserscheinung zurückgeführt, deren Größe von der Objektivöffnung abhängt. Man nimmt jetzt allgemein an, daß der Augenblick des Auftretens des schwarzen Tropfens derjenige ist, der durch die Beobachtung festgehalten werden soll.

Die Planetendurchgänge vor der Sonnenscheibe nehmen eine weit größere Zeit in Anspruch als die des Mondes, wegen der viel langsameren Bewegung der Planeten. Für den Merkurdurchgang vom 10. Mai 1891 waren die betreffenden Momente:

	Eintritt		Austritt	
	äußere	innere Berührung	innere	außere Berührung
Melbourne	$9^h\ 34^m\ 21^s$	$9^h\ 39^m\ 12^s$ morgens	$2^h\ 27^m\ 3^s$	$2^h\ 31^m\ 54^s$ nachmittags
Hongkong	7 33 30	7 38 24 „	0 21 34	0 26 30 „

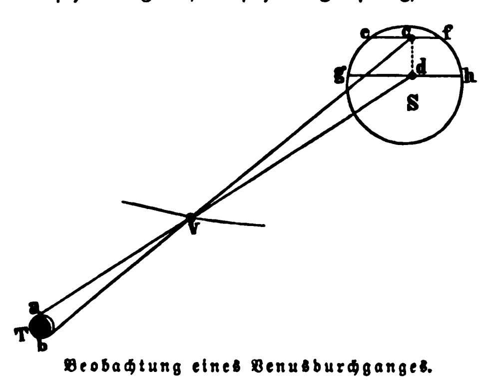
Diese Zeiten sind natürlich bei den einzelnen Durchgängen wegen der verschiedenen Längen der Sehnen, die der Planet dabei über die Sonnenscheibe zieht, sehr verschieden, aber auch für verschiedene Beobachtungsorte ist ein wenngleich verhältnismäßig geringer Unterschied der Ein- und Austrittszeiten festzustellen, welcher der Parallaxe zuzuschreiben ist. Es wurden deshalb diese Ereignisse bereits bei Gelegenheit des Merkurdurchganges von 1677 von Halley zur Bestimmung der Parallaxe vorgeschlagen, woraus dann die astronomische Fundamentalgröße der Sonnenparallaxe wiederum in einer später zu erörternden Weise gefolgert werden konnte.

Weit vorteilhafter für diesen Zweck gestalten sich indes die Venusdurchgänge; nur treten sie leider viel seltener auf als bei Merkur. Ihre Periodizität spielt sich in Zwischenräumen von 105½, 8, 121½ und 8 Jahren ab, derart, daß beispielsweise die letzten vier Venusdurchgänge im Juni 1761 und 1769, dann im Dezember 1874 und 1882 stattfanden, und die nächsten vier zu folgenden Zeiten eintreten werden:

Jahr	Tag	Zeit der Mitte des Durchganges in mitteleurop. Zeit	Halbe Dauer des Durchganges	Kürzeste geozentrische Distanz von Sonne und Venus
2004	8. Juni	$9{,}8^h$ morgens	$2^h\ 45^m$	11,3′ südlich
2012	6. Juni	3,0 „	3 21	8,3′ nördlich
2117	11. Dezember	3,9 „	2 23	13,0′ nördlich
2125	8. Dezember	5,1 abends	2 48	11,5′ südlich

Im ganzen gegenwärtigen Jahrhundert findet also kein Venusdurchgang statt. Die ersten Erscheinungen wurden von Kepler auf Grund der von ihm entworfenen Planetentafeln vorausgesagt, und zwar der erste für 1631, der aber nicht beobachtet wurde (Kepler starb kurz vorher), und der von 1761. Den Durchgang von 1639 hatte Kepler übersehen, und gerade dieser war der erste, der überhaupt beobachtet worden ist; er wurde von dem Engländer Horrox vorausberechnet und auf der Projektion eines Sonnenbildes verfolgt. Für die beiden Durchgänge des 18. Jahrhunderts wurden bereits große Expeditionen in entlegene Gegenden ausgerüstet zu dem Zwecke, um die Sonnenparallaxe dadurch zu ermitteln. In der Tat gab es keine sicherere Methode, den Fundamentalwert zu bestimmen, solange man noch nicht über Instrumente von so großer Genauigkeit verfügte wie die moderne Zeit, denn

man brauchte zu der Beobachtung nichts weiter als ein Fernrohr von geringer optischer Kraft, ohne allen messenden Beirat, und eine leidlich gutgehende Uhr. Das eigentliche Meßwerkzeug war die Sonne selbst; es kam nur darauf an, die verschiedene Länge der Sehnen zu messen, welche die Venus von verschiedenen Standpunkten aus über die Sonnenscheibe zog. Dazu brauchte man aber nur die Augenblicke des Eintritts und des Austritts in irgendeinem Zeitsystem zu bestimmen, und es kam dann für die Berechnung der Länge der Sehne nur darauf an, die Zwischenzeit jener beiden Momente genau festgelegt zu haben. Die untenstehende Zeichnung erläutert dies. T ist die Erde, V die Venus, S die Sonne. Für den Beobachtungsort a tritt die Venus bei g in die Sonnenscheibe ein und bei h aus; für b befinden sich diese Punkte bei e und f. Die verschiedene Größe der beiden Sehnen, welche die Beobachtung direkt ergibt, läßt ihren senkrechten Abstand c d berechnen, und dieser gibt dann den parallaktischen Winkel bei V. Die auf solche Art entstehenden parallaktischen Verschiebungen sind sehr augenfällig, wie die beiden Wiedergaben von Photographien auf Seite 555 erkennen lassen, von denen die eine die Venus auf der Sonnenscheibe in Ispahan am 8. Dezember 1874 zeigt, die andere ein Bild der Sonne gibt, das ziemlich genau um dieselbe Zeit auf der von einer deutschen Expedition gewählten Station Aucklandsinsel aufgenommen wurde.



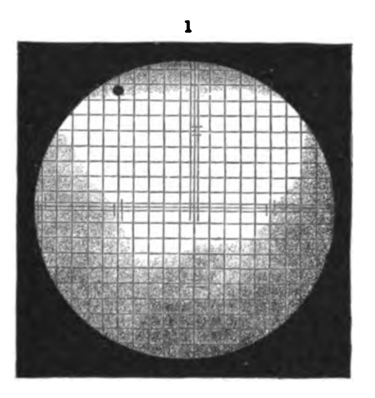
Beobachtung eines Venusdurchganges.

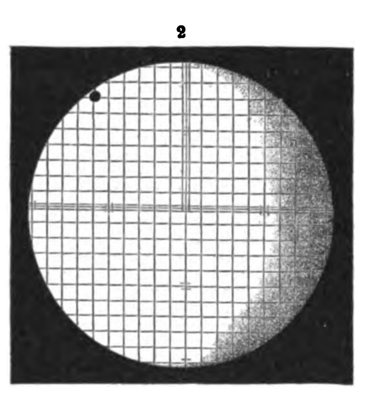
Die beschriebene Methode, durch bloße Kontaktbeobachtungen des Ein- und Austrittes an zwei möglichst weit voneinander entfernten Orten die gesuchte Parallaxe abzuleiten, rührt von Edmund Halley her, der für den Durchgang von 1761, den er selbst unmöglich noch erleben konnte, ganz ausführliche Anleitungen gab. Er berechnete auch die später eintretenden Venusdurchgänge voraus. Es ist für uns nicht uninteressant, zu erfahren, daß schon damals die Kenntnisse über die Bewegungen der Himmelskörper so weit vorgeschritten waren, daß der treffliche Rechner z. B. den Durchgang von 1874 zwei Jahrhunderte voraus auf 4 Minuten genau bestimmt hatte. Allerdings stimmte die kürzeste Distanz, bis zu der sich Venus dem Mittelpunkte der Sonnenscheibe näherte, mit der Rechnung recht schlecht; Halley gab für diesen Wert 3′ 3″, während der wahre Wert 13¾′ war. Dieser Fehler rührt daher, daß der englische Astronom den Durchschnittspunkt der Venusbahn mit der Ekliptik (Knotenpunkt) als unbeweglich annahm, was der Wahrheit nicht entspricht. Infolgedessen waren auch alle Angaben Halleys über die günstigsten Punkte, an denen die Erscheinung 1761 am besten zu beobachten sein würde, unrichtig.

Aus sämtlichen Beobachtungen der beiden Durchgänge von 1761 und 1769 leitete Powalky den Wert für die Sonnenparallaxe zu 8,86″ ab, nachdem Encke unter unrichtigen Annahmen der geographischen Lage verschiedener Stationen den falschen Wert von 8,577″ gefunden hatte.

Die beiden Durchgänge des vorigen Jahrhunderts ergaben ganz ähnliche Resultate. Mit Präzisions-Meßinstrumenten, wie dem Heliometer, bewaffnet und unterstützt von dem überall hilfreichen Mittel der Photographie, brauchte man nun auf die recht unsichere Methode der Kontaktbeobachtungen nicht mehr das Hauptgewicht zu legen: man maß und

photographierte jetzt die Venus auf der Sonnenscheibe unablässig während ihres Vorübergangs und konnte also die Beobachtungen beliebig vervielfältigen. Freilich war es nun auch nötig, die geographische Lage der Beobachtungsorte sehr genau zu bestimmen. Die Aufgaben der zahlreich ausgesandten Expeditionen wurden dadurch umfangreicher, ihre Ausrüstung kostspielig. Dennoch wurde kein Aufwand gespart, so daß die Venusexpeditionen des 19. Jahrhunderts neben den Arbeiten für die europäische Gradmessung und die photographische Himmelskarte zu den imposantesten Kundgebungen internationaler Forschungstätigkeit gehören. Schon im Jahre 1868 begannen die vielseitigen Vorarbeiten für den sechs Jahre später stattfindenden ersten Durchgang; es wurden die Instrumente genau geprüft, Apparate konstruiert, die einen Venusdurchgang künstlich erzeugten und dabei die Erscheinung des berüchtigten schwarzen Tropfens zeigten, mit dem man sich nun im voraus vertraut machen konnte. Alle zivilisierten Staaten rüsteten Expeditionen aus; Deutschland hatte deren fünf mit Heliometern und photographischen Apparaten versehen. Sie gingen nach Tschifu, Ispahan, nach einer Aucklandsinsel, einer Kerguelen-insel und nach Mauritius. Von ihnen lag zwischen Ispahan und der Aucklandsinsel ein Breitenunterschied von mehr als 93 Grad. Frankreich hatte sechs Expeditionen, England deren nicht weniger als 29 abgesandt. Die Mitte der Erscheinung fand diesmal am Morgen des 9. Dezember um 4 Uhr 15 Minuten 52 Sekunden mittlerer Pariser Zeit geozentrisch statt; die ganze Dauer betrug 4 Stunden 39 Minuten 15 Sekunden; die kürzeste Distanz der Mittelpunkte beider Körper war 13′ 47″. Die Venus bewegte sich also recht nahe am Sonnenrande hin, ein ungünstiger Umstand für die Güte der daraus abzuleitenden Resultate. Auch hatte das Wetter die Expeditionen teilweise wenig begünstigt. Die aus den Beobachtungen erhaltenen Werte für die Sonnenparallaxe bewegten sich zwischen den Grenzen 8,75″ und 8,93″.





1) Venus vor der Sonnenscheibe, nach einer photographischen Aufnahme in Ispahan (östl. Länge von Berlin $2^h 33^m 5^s$, nördl. Breite 32° 38′) 1874, 8. Dezember, $6^h 31^m 25^s$ vormittags, mittlere Berliner Zeit; 2) Venus vor der Sonnenscheibe, nach einer photographischen Aufnahme auf Station Auckland (östl. Länge von Berlin $10^h 11^m 15^s$, südl. Breite 50° 32′) 1874, 9. Dezember, $6^h 33^m 18^s$ vormittags, mittlere Berliner Zeit. Vgl. Text, S. 554.

Günstiger lagen die Verhältnisse für den zweiten Durchgang am 6. Dezember 1882: die Mitte der Erscheinung fand um 5 Uhr 13 Minuten 47 Sekunden nachmittags mittlerer Pariser Zeit statt, die ganze Dauer betrug 6 Stunden 17 Minuten 9 Sekunden, der kleinste Abstand 10′ 41″. Die ganze Erscheinung war von der Hudsonbai im nördlichen Amerika bis zum Kap Horn sichtbar. Von Europa dagegen konnten nur die westlichen Teile den Eintritt allein sehen; das Austrittsgebiet lag über dem Großen Ozean. Deutschland sandte diesmal vier Expeditionen aus, und zwar nach Hartford (Connecticut), nach Aiken (in Südcarolina), Bahia Blanca (Argentinien) und Punta Arenas (Magalhãesstraße).

Die Resultate dieses zweiten Durchgangs waren, zumal wegen der von den Beobachtern beim vorangegangenen Durchgange gesammelten neuen Erfahrungen, von besserem Erfolg gekrönt. Es dauerte indes geraume Zeit, bis die Resultate der Expeditionen, die jede Nation zunächst für sich abzuleiten hatte, bekannt wurden, denn es war ein sehr umfangreiches Material zu bearbeiten. Tausende von Photographien der Venus auf der Sonnenscheibe mußten unter dem Mikroskop mit peinlichster Genauigkeit ausgemessen werden, um die Lage des Planeten zum Sonnenzentrum in dem betreffenden Beobachtungsmomente zu ermitteln; dann mußten die Beobachtungen, die zur Bestimmung der geographischen Lage des Beobachtungsortes ausgeführt worden waren, bearbeitet werden, um schließlich aus der Gesamtheit der Beobachtungen einer Nation durch die Behandlung von einigen hundert Bedingungsgleichungen den wahrscheinlichsten Wert der Sonnenparallaxe zu ermitteln. Es würde zu weit führen, die Resultate der einzelnen Expeditionen hier aufzuführen. Wir kommen gleich auf ein Gesamtresultat zurück.

Nachdem die Präzisionsmeßkunst so wunderbare Fortschritte gemacht hatte, war man inzwischen zu der Überzeugung gelangt, daß die Venusdurchgänge nicht mehr den wesentlichen Vorteil für die Bestimmung der Sonnenparallaxe boten, wie es zu Halleys Zeiten oder auch noch im 18. Jahrhundert erschienen war. Außerdem waren diese Ereignisse gar zu selten. Man hat deshalb in neuerer Zeit von ganz anderen Seiten her Anstrengungen gemacht, den Wert der Sonnenparallaxe zu ermitteln. Wir wollen im Anschluß an die Resultate der Venusexpeditionen dieser Arbeiten hier gedenken und dabei historisch wieder ein wenig zurückgreifen.

Schon an einer anderen Stelle (S. 522) haben wir den Versuch erwähnt, den Aristarch von Samos machte, das Verhältnis der Entfernung von Sonne und Mond zu bestimmen. Wir müssen dies streng genommen als die erste Sonnenparallaxenbestimmung bezeichnen, die allerdings, wie wir wissen, recht fehlerhaft ausfiel. Schon wesentlich genauer konnte der Alexandriner Hipparch vorgehen. Er hatte eine sehr glückliche Idee, die er mit der Aristarchs verband. Es läßt sich nämlich leicht zeigen, daß die Summe des von der Erde aus gesehenen Halbmessers der Sonne und des Erdschattens in der Mondentfernung gleich der Summe der Parallaxen von Sonne und Mond sein muß. Die erstere Winkelgröße ließ sich nun direkt leicht bestimmen, Hipparch setzte dafür $39 + 15 = 54$ Minuten, was der Wahrheit ziemlich entspricht. Um aber die in diesem Resultat enthaltenen beiden Unbekannten, die Sonnen- und die Mondparallaxe, voneinander zu trennen, mußte er eine Verhältniszahl beider zueinander kennen; dafür nahm er leider das falsche Resultat Aristarchs an, indem er rund die Sonne zwanzigmal entfernter als den Mond setzte; das gab 2,7 Minuten für die Sonnenparallaxe. Im Jahre 1650 wiederholte der Holländer Wendelin die Beobachtung Aristarchs, indem er den Winkel zwischen Sonne und Mond zur Zeit des ersten und letzten Viertels maß. Er fand dafür schon viel richtiger $89^{\circ}\,45'$, welcher Wert, in die Hipparchsche Relation eingesetzt, für die Sonnenparallaxe nun bloß noch 14 Bogensekunden ergab, also eine wesentlich größere Entfernung, als man bisher für das Zentralgestirn vermutet hatte. Kurze Zeit darauf wurde durch die denkwürdige Expedition Richers nach Cayenne, der wir bei Gelegenheit der Pendelbeobachtungen schon Erwähnung taten, durch gleichzeitige Höhenmessungen des Mars dort und in Paris dieser Winkelwert auf $9\frac{1}{2}''$ verringert, die Sonne also in noch größere Entfernung gerückt.

In neuerer Zeit sind wiederholt Meridianbeobachtungen des Mars an korrespondierenden Orten mit möglichst großem Breitenunterschiede zur Bestimmung

der Sonnenparallaxe angewandt worden. Selbstverständlich beobachtet man hier direkt wie beim Venusdurchgang zunächst die Parallaxe des Planeten selbst; wir werden aber bald sehen, daß man nur die Entfernung irgendeines Planeten unseres Systems zu kennen braucht, um dadurch die aller anderen durch Rechnung finden zu können, weil ihr gegenseitiges Verhältnis sich mit aller erwünschten Genauigkeit ermitteln läßt, während erst die Parallaxenbestimmung das Verhältnis dieser Größen zum Erddurchmesser und damit zu einer bekannten Maßeinheit, z. B. dem Konventionsmeter, ergibt. Um eine möglichst große parallaktische Verschiebung zu erhalten, konnte man vor der Entdeckung des erdnahen Eros nur die großen Planeten Venus und Mars benutzen. Da aber Venus in ihrer Erdnähe sich zwischen uns und der Sonne befindet, so ist dann ihre Beobachtung zu schwierig, wenn sie nicht gerade vor der Sonnenscheibe vorüberzieht. Für Mars dagegen herrschen hier günstigere Verhältnisse, da er uns am nächsten steht, wenn er um Mitternacht kulminiert, d. h. sich in Opposition befindet.

Nach Galles Vorschlag wurden nun auch seit den 1870er Jahren die helleren Asteroiden zu demselben Zwecke verwendet, die zwar weiter entfernt sind als Mars, aber den Vorteil boten, daß sie uns als Punkte erscheinen und deshalb in den Instrumenten schärfer einzustellen sind als ein Planetenrand. Eros aber, der der Erde noch bedeutend näher kommt als Mars und zugleich doch nur als leuchtender Punkt im Fernrohr erscheint, vereinigt die Vorteile der beiden zuletzt erwähnten Methoden. Es ist deshalb eine Organisation geschaffen, durch die auf Sternwarten mit möglichst großen Breitenunterschieden in systematischer Weise die Meridianhöhen des Eros zum Zwecke der Parallaxenbestimmung gemessen werden. Die bis jetzt erhaltenen Resultate dieser noch nicht abgeschlossenen Untersuchung gehören zu den genauesten, die man von dieser Fundamentalgröße gefunden hat. Man kann deshalb sagen, daß die Entdeckung des kleinen Planeten Eros in der Folge derart kostspielige Expeditionen, wie sie zur Beobachtung der Venusdurchgänge nötig waren, entbehrlich machte.

Eine hiervon gänzlich verschiedene Methode zur Bestimmung des Fundamentalwertes besteht in der Messung der Lichtgeschwindigkeit einmal auf astronomischem Wege, ein anderes Mal durch physikalische Experimente. So hatte z. B. Wilhelm Struve durch die Ermittelung der sogenannten Aberrationskonstante, die uns später beschäftigen wird, gefunden, daß das Licht 8 Minuten 17,8 Sekunden braucht, um von der Sonne bis zu uns zu gelangen. Man hätte diesen Wert auch, wie wir vorhin schon sahen, durch die Beobachtungen der Verfinsterungen der Jupitertrabanten ermitteln können; da diese indes nicht momentan eintreten, bieten sie für den vorliegenden Zweck keine genügende Genauigkeit. Nun hatte, wie wir wissen, Foucault die Geschwindigkeit des Lichtes auf rund 300,000 km in einer Sekunde bestimmt. In der oben angegebenen Zeit legt also das Licht 149¼ Millionen Kilometer zurück; in einer solchen Entfernung würde der Erdhalbmesser unter einem Winkel von 8,86 Sekunden erscheinen und dieser Wert somit als Sonnenparallaxe aus der Messung der Lichtgeschwindigkeit folgen.

Hierzu kommen noch Methoden, die aus einem Vergleich der Anziehungskräfte resultieren, die Sonne, Erde und Mond aufeinander üben; doch können wir auf deren nähere Erörterung hier nicht weiter eingehen. In neuerer Zeit hat Newcomb alle Untersuchungen über die Sonnenparallaxe noch einmal rechnerisch durchgeprüft und es wird hier interessieren, eine Zusammenstellung der Resultate der einzelnen Methoden zu geben, um



daraus zu erkennen, wie weit die auf ganz verschiedenen Wegen erhaltenen Werte für dieses Grundmaß aller astronomischen Messungen miteinander harmonieren.

1) Von Kontaktbeobachtungen der letzten beiden Venusdurchgänge . . . . . 8,794"
2) Von Messungen der Venus auf der Sonne während dieser Venusdurchgänge 8,857
3) Von Oppositionsbeobachtungen des Mars. 8,780
4) Von Oppositionsbeobachtungen kleiner Planeten (ohne Eros) 8,807
5) Von Lichtzeitbestimmungen in Pulkowa 8,793
6) Von Lichtzeitbestimmungen anderer Beobachter. 8,806
7) Von der parallaktischen Ungleichheit der Mondbewegung 8,794
8) Von der Wirkung der Mondanziehung auf die Erdbewegung 8,825

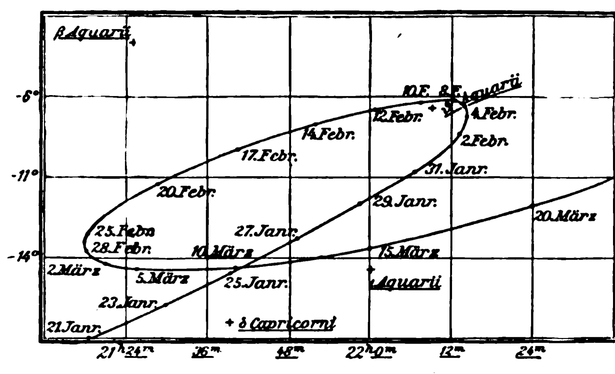
Newcomb vereinigte nun alle diese Werte nach Maßgabe des Vertrauens, die sie verdienen, und fand als wahrscheinlichsten Mittelwert der Sonnenparallaxe 8,800" mit einer voraussichtlichen Unsicherheit von 0,004". Die Sonnenentfernung ergibt sich daraus gleich 23,439 Erdradien im Äquator oder nach Bessels Dimensionen 149,480,000 km. Bestätigt es sich, daß die Unsicherheit jenes Wertes eine halbe Hundertstel-Sekunde nicht übersteigt, so nähert sich dieser der Wahrheit bis auf rund 90,000 km oder 14 Erdhalbmesser. Erwägen wir, daß der entfernteste Planet unseres Systems dreißigmal, bekannte Kometen jedoch mehrere hundertmal weiter sich von uns entfernen können als die Sonne, und daß nun gar die nächsten Fixsterne um Hunderttausende dieser astronomischen Einheit von uns abstehen, und daß in alle diese Entfernungsmessungen die Unsicherheit über die Sonnenparallaxe sich, mit jenen Relativzahlen multipliziert, mischt, so wird es uns bewußt, wieviel noch immer zu tun ist, um unsere Kenntnisse über die Entfernungen im Weltgebäude zu verbessern. Es darf hierbei jedoch nicht unterlassen werden, nochmals zu betonen, daß die relativen Entfernungen dieser Himmelskörper, die uns dazu dienen, die Gesetze der Bewegungen und Anordnungen im Weltgebäude kennen zu lernen und auf ihre allgemeine Gültigkeit zu prüfen, mit ungemein viel größerer Genauigkeit nach strengen geometrischen Regeln zu bestimmen sind, und daß jene große Unsicherheit erst dann in die Rechnungen eingeht, wenn man sich die Aufgabe stellt, die Relativwerte in ein menschlich greifbares Maß zu übersetzen. Ebendeshalb aber ist die peinlichste Genauigkeit in der Bestimmung und Konservierung solcher Maße, wie des Konventionsmeters, notwendig.

---

8. Die scheinbaren Bewegungen der Planeten.

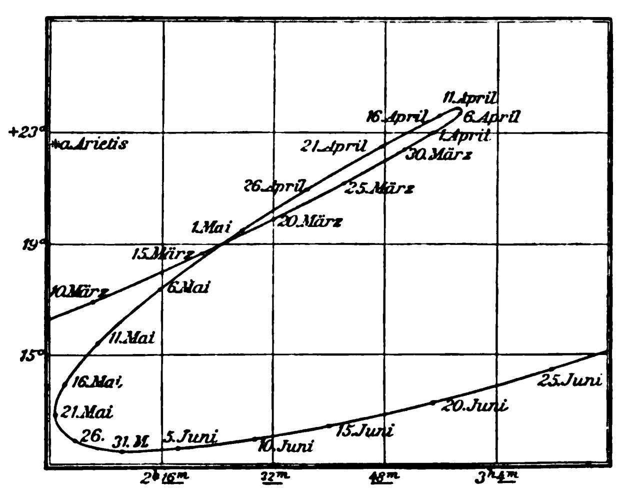
Verfolgen wir die Bewegungen der Planeten in derselben Weise wie die der Sonne und des Mondes, so erkennen wir an ihnen bald Eigentümlichkeiten, von denen bei letzteren nichts zu bemerken ist: die Planeten bewegen sich nicht nur mit wesentlich veränderlicher Geschwindigkeit, sondern wenden sogar zu gewissen Zeiten in ihrem Laufe völlig um, so daß ihre Rektaszension, die bei Sonne und Mond beständig wächst, bis der ganze Umkreis vollendet ist, nun abzunehmen beginnt; die Planeten werden „rückläufig". Dabei verändern sie dann auch meist ihre äquatoriale Breite derart, daß beim abermaligen Umkehren der Bewegung eine richtige Schleife entsteht, wie wir sie auf S. 559 und 560 für die alten Planeten abgebildet haben. Diese eigentümlichen Schleifen sind nicht nur für jeden Planeten nach Form und Größe, sondern auch bei ein und demselben Planeten nacheinander verschieden.

Verfolgen wir beispielshalber die Bewegungen des Merkur während eines synodischen Umlaufes, der etwa 116 Tage umfaßt. Wir beginnen mit der am 28. November 1896 eingetretenen oberen Konjunktion des Planeten mit der Sonne. Es ist bekannt, daß der Planet um diese Zeit jenseits der Sonne steht und den kleinsten Durchmesser hat. Er befindet sich zunächst noch etwas südlich von der Sonne; seine Bewegung ist rechtläufig, indem er der Sonne vorauseilt. Seine südliche Deklination nimmt weiter zu und wird etwa 2° größer als die der Sonne jemals werden kann; der Planet befindet sich also südlich von der Ekliptik. Die vorauseilende Bewegung nimmt nun mehr und mehr ab. Am 10. Januar 1897 geht der Planet durch die Ekliptik und auf deren nördliche Seite über: er befindet sich im aufsteigenden Knoten. Zwischen dem 12. und 13. wird seine Bewegung in Rektaszension fast gleich Null, während die südliche Deklination weiter abnimmt, d. h. der Planet bewegt sich fast genau nach Norden.



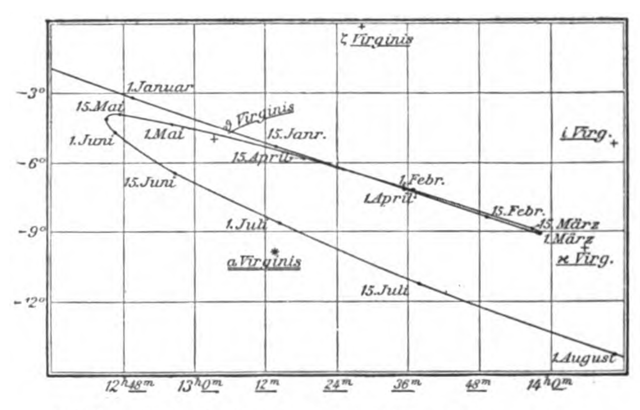
Scheinbare Bewegungen des Merkur 1889. Vgl. Text, S. 558.

Nun wendet er um, die Rektaszension nimmt immer schneller ab, und am 19. tritt auch eine Umkehr der Deklinationsbewegung ein. Der Planet hatte sich inzwischen, wie aus dem Größerwerden seines Durchmessers zu schließen war, uns beständig genähert; die untere Konjunktion zur Sonne findet am 22. Januar statt. Die rückläufige Bewegung hält indes noch bis zum 3. Februar an. Während diese nun immer weiter zunimmt, entfernt sich der Planet wieder von uns; am 17. Februar geht er abermals durch die Ekliptik, diesmal nach Süden hin: er steht im niedersteigenden Knoten. Dieses Auf- und Niedersteigen des Planeten durch die Ekliptik findet aber nicht in korrespondierenden Punkten statt, wie bei Sonne und Mond, bei denen der aufsteigende vom absteigenden Knoten um 180 Grad verschieden ist; auch ereignen sich diese Durchgänge keineswegs an bestimmten Punkten der Ekliptik immer wieder, so daß man nicht ohne weiteres von einer Knotenlinie des Planeten, wie bei Sonne und Mond, reden könnte, die nur eine verhältnismäßig langsame Bewegung auf der Ekliptik hat. Beispielsweise fand der Durchgang durch die Ekliptik in



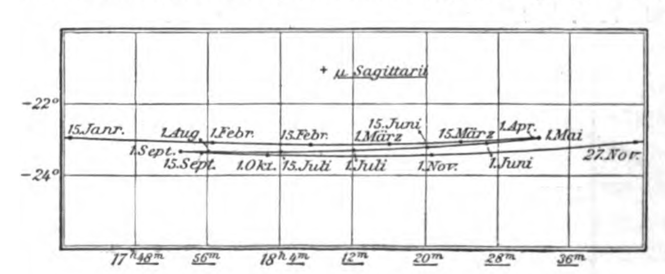
Scheinbare Bewegungen der Venus 1889. Vgl. Text, S. 558.

der aufsteigenden Bewegung am 10. Januar in einer A. R. von $20^h\,45^m$, in der niedersteigenden Bewegung am 17. Februar bei A. R. $20^h\,21^m$, der folgende aufsteigende Knoten am 8. April bei A. R. $1^h\,34^m$, der absteigende Knoten am 16. Mai bei A. R. $4^h\,4^m$ statt. Nachdem Merkur am 16. Februar in seiner absteigenden Bewegung die Ekliptik passiert hat, schreitet seine Bewegung in rechtläufigem Sinne weiter vorwärts und erleidet hierin keine Änderung, bis er am 2. April 1897 seine folgende obere Konjunktion zur Sonne erreicht und das Spiel der Bewegungen nun in ähnlicher Weise bei seinem nächsten synodischen Umlauf wiederholt.

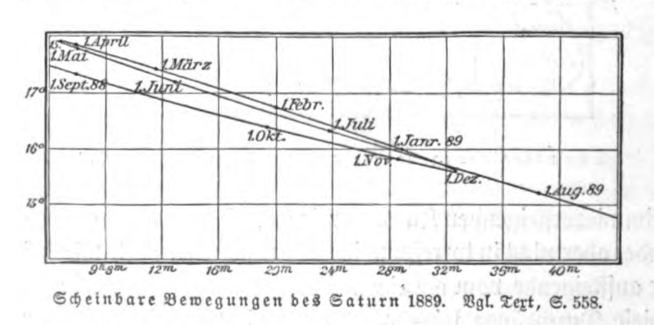


Scheinbare Bewegungen des Mars 1888. Vgl. Text, S. 558.

Die Bewegungen aller Planeten stimmen darin überein, daß sie bei jedem synodischen Umlauf immer nur eine Schleife machen. Bei Merkur und Venus findet die größte rückläufige Bewegung in dieser Schleife während der unteren Konjunktionen statt, also wenn sie uns am nächsten stehen. Ähnliches ereignet sich bei den oberen Planeten; auch sie zeigen ihre größte rückläufige Bewegung, wenn sie uns am nächsten, d. h. in Opposition, stehen. Alle diese Bewegungen aber gehen in der Nähe der Ekliptik vor sich, von der sich die großen Planeten nur wenige Grade entfernen können. Die größten Entfernungen von der Ekliptik sind bei jedem synodischen Umlauf etwas verschieden, zeigen dabei aber eine gewisse Periodizität, auf deren nähere Umstände wir wie auf andere Eigentümlichkeiten der Planetenbewegungen bei Gelegenheit der Erklärungsversuche dafür zurückkommen. Hier sei nur erwähnt, daß die kleinen Planeten zwischen Mars und Jupiter sich bei weitem mehr von der Ekliptik entfernen können, so daß sie, was ihre Bewegungsverhältnisse anbetrifft, eine besondere Stellung einnehmen.



Scheinbare Bewegungen des Jupiter 1889. Vgl. Text, S. 558.



Scheinbare Bewegungen des Saturn 1889. Vgl. Text, S. 558.

Interessant ist es noch für uns, daß die mittlere Bewegung der Planeten um den Himmel bei Merkur am größten ist und dann in der Reihenfolge Venus, Mars, kleine Planeten,

Jupiter, Saturn, Uranus, Neptun abnimmt, also in jener selben Reihenfolge, in die wir nach den Erörterungen im ersten Hauptteil aller Wahrscheinlichkeit nach die Entfernungen der Planeten setzen müssen. Für diese Mutmaßung spricht auch der Umstand, daß die Planetenschleifen in derselben Reihenfolge kleiner und kleiner werden, so daß es den Anschein gewinnt, als ob eine ursächlich ähnliche Bewegung nur immer aus größerer Entfernung gesehen werde. Bei Neptun, dem entferntesten Planeten, beträgt die ganze rückläufige Bewegung nur noch etwa 12^m in Rektaszension, und von einer zur folgenden Opposition bewegt sich der Planet nur 10^m vorwärts.

---

9. Die Weltansichten vor Newton.

Nachdem wir so in den hauptsächlichsten Zügen die Bewegungen von Sonne und Mond und der übrigen wandelnden Gestirne am Himmel kennen gelernt haben, ist es an der Zeit, über den ursächlichen Zusammenhang, der zwischen ihnen auch der oberflächlichen Beobachtung offenbar ist, nachzudenken. Nicht nur, um die historische Entwickelung der Ansichten über den Weltbau um des ungemein menschlichen Interesses willen zu verfolgen, sondern weil wir die Schwierigkeiten, welche die erste Auffassung der großen Wahrheiten der Himmelsmechanik dem Fernerstehenden verursacht, auf diese Weise leichter überwinden können, wollen wir im Verfolg jener Aufgabe im großen und ganzen den Wegen nachgehen, welche die Menschheit selbst genommen hat, um diese Wahrheiten zu erfassen.

Die ersten Ansichten über den Weltbau hielten sich begreiflicherweise an den unmittelbaren Augenschein. Für die Griechen war, wenn man von einigen aufgeklärteren Köpfen absah, das Weltgebäude identisch mit der Erde, die man sich als eine große Scheibe auf dem endlosen Ozean schwimmend vorstellte. Über der Erde wölbte sich eine kristallene Halbkugel, an der die Sterne festgeheftet waren; Apollo lenkte seine Sonnenrosse, aus dem Ozean emporsteigend, über das Himmelsgewölbe hin und tauchte abends wieder in die Wogen des Meeres hinab. Nächtlicherweile schwamm er mit seinen Rossen auf dem Ozean halb um die Erdscheibe herum, um dann wieder im Osten aufzusteigen.

Wir wissen, wie man diese Ansichten später korrigieren mußte, als man die ersten Schritte zu einer Gradmessung tat, durch die man erkannte, daß die Erde keine Scheibe sein könne, sondern, wie man anfangs meinte, etwa walzenförmig sei. Anaximander, ein Schüler des Thales, lehrte diese Weltansicht um 550 v. Chr. Der Schritt von der Scheibenform der Erde zu der einer Walze war, wenn wir uns recht hineindenken, ein geradezu revolutionärer und deshalb wohl dazu angetan, dem menschlichen Geiste zunächst ein Halt zu gebieten, um die gewaltigen Konsequenzen, die sich hieraus ergaben, auszudenken, ehe man Zeit gewann, einen weiteren Schritt vorwärts zu tun. Während es bis dahin ein unbedingtes Oben und Unten gab, schwebte nunmehr die Erde in einem freien Raume; die Idee der Antipoden war geschaffen, ein Begriff, der noch heute manchem Schwierigkeiten bereitet. Unterhalb unseres Horizontes wölbte sich nun eine gleiche Halbkugel, wie wir sie über uns sehen, die Erde schien in eine ungeheure kristallene Kugel eingeschlossen zu sein, die eine Grenze zwischen dem menschlich Faßbaren und dem Unendlichen, dem Göttlichen bildete. Unter dem Horizont hatte jene Halbkugel offenbar noch einen anderen Himmelspol, und zwischen beiden lag die Weltachse, auf welche gewissermaßen die irdische

Walze in der Mitte eingeschoben war. Man dachte sich wohl, daß die Weltachse wirklich durch feste materielle Bande an das Gewölbe des Himmels geschmiedet sei, denn die Idee eines frei schwebenden Körpers konnte man damals selbstverständlich noch nicht fassen.

Die Fortsetzung der primitiven Erdmessungsarbeiten und anderer Betrachtungen, zu denen vor allem die immer gleichbleibende Gestalt des Erdschattens während der Mondfinsternisse Anlaß bot, hatten aber die Überzeugung immer mehr befestigt, daß die Erde nach allen Seiten hin rund, d. h. wenigstens ungefähr kugelförmig sei. Auch von den beiden scheinbar größten Himmelskörpern, Sonne und Mond, mußte man diese Überzeugung gewinnen, und man hatte ferner über ihre wahre Größe so viel Anhaltspunkte gewonnen, daß man sie für einigermaßen der Erde ebenbürtig ansehen mußte. Man hatte deshalb Sorge zu tragen, so ungeheure Körper, die hoch über unseren Häuptern in gewaltigem Schwung um die Erde kreisten, ausreichend zu befestigen; hierzu genügte die Fixsternsphäre nicht mehr, weil man die unabhängige Bewegung der sie bevölkernden Weltkörper inzwischen erkannt hatte. Man baute also in der Einbildung je eine neue Sphäre für Sonne und Mond, die kleiner waren als die Fixsternsphäre und mit ihr konzentrisch auf der Weltachse steckten, jedoch so, daß jede, zwar im großen und ganzen von der täglich einmal umschwingenden Fixsternsphäre mitgenommen, doch einer unabhängigen Bewegung fähig war. Zu diesen kamen bald noch fünf andere Sphären, je eine für jeden der großen Planeten.

Diese neue Weltansicht der Sphären bringt uns in der historischen, mit der logischen Entwickelung parallel laufenden Stufenfolge etwa 1½ Jahrhunderte über die einfachere Ansicht von Anaximander hinaus. Die Idee der Sphären wird zuerst mit völliger Deutlichkeit von Eudoxus, wie von seinem Zeitgenossen und Freunde Plato in dessen „Republik" gelehrt; doch ist es sicher, daß bereits Pythagoras oder doch seine Schüler an sie gedacht hatten.

Man leitete bekanntlich aus dieser Idee die weitere der Sphärenmusik ab, indem man zunächst jede der sieben Planetensphären mit einem der sieben Töne der Oktave verglich; der achte Ton, die höhere Oktave, stellte eben das Primum mobile, die Fixsternsphäre dar. Man war davon überzeugt, daß der Umschwung dieser gewaltigen Hohlkugeln, an denen so große Körper wie Sonne und Mond befestigt waren, ebenso wie die schnell umschwingenden Räder einer mechanischen Vorrichtung einen Ton von sich geben müßte, und daß das Zusammenklingen der verschiedenen so erzeugten Töne (indem man gelegentlich auch das Verhältnis der einzelnen Planetenbewegungen sich wie das von Terzen oder Quarten zueinander nach Belieben anordnete) zu einer wundervollen Harmonie sich verbinden müßte, die das ganze Universum mächtig durchdringe. Nur wir unvollkommenen Erdgeborenen, so meinte man, könnten diese himmlische Musik nicht hören, die das ewige Entzücken der Olympier sei. Die Pythagoreer, die, angeregt durch die merkwürdigen Entdeckungen einfacher Zahlenverhältnisse für die Längen von schwingenden und harmonisch zusammenklingenden Saiten, in solchen Zahlenverhältnissen das ganze Geheimnis der Weltordnung verborgen glaubten, haben offenbar zugleich einen besonders nachhaltigen Anstoß zur näheren Beobachtung der Bewegungen der Himmelskörper gegeben. Ja, diese oft belächelte Mystik der Zahlen, die sich in seltsamen Spielereien in alle Wissenszweige der Natur einzudrängen verstand und bis in das hohe Mittelalter hinein die philosophische Naturbetrachtung beherrschte, trug den Keim in sich, dem wir das Aufblühen und die Entwickelung unserer modernen exakten Naturforschung und zwar nicht nur auf dem Gebiete der Astronomie verdanken. In der Harmonie der Weltsphären ahnte das kindlich-naive Gemüt, dem in der Naturbetrachtung

noch wenig Erfahrungen vorlagen, den gewaltigen Gedanken von der Einheit der weltregierenden Naturkräfte, den uns jede neue Entdeckung im weiten Bereiche der Natur immer lebendiger vorführt, und der die gesamte Naturforschung unserer Zeit erfüllt und lenkt.

Nachdem jene weiteren Erfahrungen von den Bewegungen der Himmelskörper erlangt waren, deren Schilderung wir bereits vorausgeschickt haben, mußte man nach und nach den Sphärenbau des Weltalls entsprechend vervollständigen. Da es aber in der Weltanschauung der älteren Philosophen Griechenlands als unumstößlich galt, daß die Erde als Hauptkörper des Weltgebäudes, in deren Dienst alle himmlischen Sphären ständen, sich genau im Mittelpunkte der Welt befinden müsse, so konnten alle die zahlreichen Komplikationen, die wir als Knotenbewegung oder als Schleifenbildung u. s. w. kennen, nur durch neue Sphären erklärt werden, die aufeinander wirkend einen und denselben Himmelskörper gemeinsam beeinflußten. Nach diesem Prinzip und unter der gleichfalls damals als unantastbar geltenden Voraussetzung, daß die Bewegung der Sphären selbst im harmonischen Bau des Weltganzen mit gleichförmiger Geschwindigkeit geschehen müsse, hatte der scharfsinnige Freund des Plato, Eudoxus, der in der ersten Hälfte des 4. Jahrhunderts v. Chr. lebte, ein Weltsystem konstruiert, das bei den Griechen lange Zeit Geltung behielt.

Eudoxus dachte sich für die Erzeugung der wirklichen Mondbewegung drei ineinander steckende Sphären, von denen jede eine der drei besonderen bis dahin bekannt gewordenen Bewegungen des Mondes ausführte, so etwa, daß die Achse der ersten Sphäre durch die Weltpole und den Mittelpunkt der Erde ging, dann an dieser Sphäre eine Achse befestigt war, welche die zweite Sphäre trug, die einmal im Monat umschwang, und daß endlich hierüber erst die dritte Sphäre, mit der zweiten in ähnlicher Weise verbunden, den Mond wirklich trug und die Knotenbewegung besorgte. Drei gleiche Sphären gab Eudoxus der Sonne, obgleich ihm von einer Knotenbewegung der Sonnenbahn noch keine Beobachtungen vorlagen, er ihr Vorhandensein also nur vermutete. Für die fünf übrigen Planeten (denn Sonne und Mond wurden damals als Planeten angesehen) konnte er aber mit nur drei solcher Sphären nicht auskommen; er brauchte zwei weitere, um die Schleifenbildung zu erklären, ließ jedoch die Sphäre für die Knotenbewegung hier fort, da von einer solchen bei diesen Körpern nichts bekannt war. Für jeden dieser fünf Planeten enthielt also der Weltenbau vier besondere Sphären; die Ansichten über das mechanische Weltgetriebe hatten sich, wie man sieht, seit Pythagoras, also seit etwa 200 Jahren, wesentlich verwickelt. Der Himmel des Eudoxus besaß nicht weniger als 27 Sphären, je drei für Sonne und Mond, je vier für die fünf großen Planeten, und das Primum mobile, die große Fixsternsphäre.

Dem scharfsinnigen Eudoxus folgte ein weniger geistvoller Weltverbesserer Kalippus, der mit ziemlicher Willkür noch 22 neue Sphären hinzufügte. Im Laufe der Zeiten hatte sich also die himmlische Maschine immer verwickelter gestaltet, so daß schließlich die Notwendigkeit einer von Grund aus klärenden und vereinfachenden Anschauung hervortrat.

Das Prinzip von der gleichförmigen Bewegung im Kreise, in dem alle älteren Weltanschauungen selbst über Kopernikus hinaus befangen blieben, erhielt den ersten merklichen Stoß durch die Entdeckung des Hipparch, daß die Länge der Jahreszeiten ungleich ist. Hipparch war es, der der Sonne ein Perigäum und ein Apogäum gab und feststellte, daß sie sich in der Nähe des ersteren schneller bewege als in der des letzteren. Aber das Axiom von der ganz gleichmäßigen Bewegung der Himmelskörper war zu sehr mit dem allgemeinen Denken Fleisch und Blut geworden, als daß sich Hipparch auf Grund seiner Entdeckungen

hätte entschließen können, an die Wegräumung dieses Axioms zu denken. Es gab für ihn noch einen anderen Ausweg, um jene Tatsachen zu erklären, soweit sie bis dahin bekannt geworden waren. Wenn man nämlich die Bewegung der Sonne gleichförmig schnell und im Kreise, dagegen um einen Mittelpunkt vor sich gehen läßt, der mit dem Mittelpunkte der Erde nicht zusammenfällt, sondern außerhalb derselben irgendwo im freien Raume liegt, so wird die Sonnenbewegung uns in der Tat ungleichförmig schnell erscheinen, und zwar schneller, wenn sie sich in dem Teile des Kreises bewegt, dem die Erde näher steht, langsamer im entgegengesetzten Teile. Die untenstehende Zeichnung erläutert dies: der Mittelpunkt der Sonnenbewegung befindet sich hier im Kreuzungspunkte der gestrichelten Linien, während bei der Erde die ausgezogenen Linien zusammenkommen. Durch Ausprobieren fand man den richtigen Ort für die Lage eines Punktes, von dem aus gesehen, unter der Voraussetzung der gleichmäßig schnellen Bewegung im Kreise, die beobachteten Bewegungseigentümlichkeiten wirklich eintreten. Die Linie, die das so entstehende Perigäum mit dem Apogäum verband, nannte bereits Hipparch die Apsidenlinie; die auf ihr gemessene Entfernung des Mittelpunktes der Sonnenbahn vom Mittelpunkte der Erde in Teilen des Halbmessers der Bahn angegeben, nannte man die Exzentrizität der letzteren; endlich die in einem bestimmten Momente stattfindende Winkelentfernung der Sonne von dem Perigäum die wahre Anomalie, die Winkelentfernung dagegen, die sie von dem Mittelpunkt ihrer Kreisbewegung einnimmt, die mittlere Anomalie. Diese Ausdrücke haben sich im astronomischen Sprachgebrauch für alle Bahnbewegungen erhalten.

Sommer-Sonnenwende · Frühling · Perigäum · Sommer · Linie · W.A. · Erde · Exzentrizität · M.A. · Herbst-Nachtgleiche · Frühlings-Nachtgleiche · Herbst · Apsiden · Winter · Sonne · Apogäum · Winter-Sonnenwende

M. A. = mittlere Anomalie. W. A. = wahre Anomalie.

Erklärung der ungleichförmigen Bewegung der Sonne nach Hipparch.

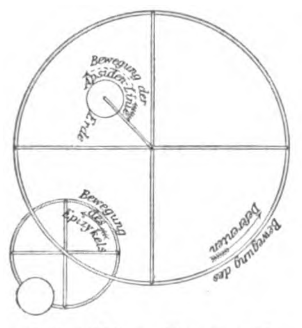
Als Hipparch auf diese Art die Erde aus dem Mittelpunkte der Bewegung hinausrückte, ahnte er wohl nicht, von wie fundamentaler Wichtigkeit dieser Gedanke war, mit dem er den ersten Schritt zur Überwindung des alten Dogmas von der dominierenden Stellung der Erde im Mittelpunkte des Weltalls getan hatte. Die Kraft, welche die Himmelskörper in mächtigem Schwunge um das Firmament führt, ging nach seiner Überzeugung nicht mehr vom Körper der Erde aus, und schwerlich konnte man einen Mechanismus ausdenken, welcher etwa in der Art, wie die Sphären des Eudoxus, an festen Achsen mit dem ruhenden Körper der Erde verbunden und von ihr aus regiert wurde, sobald man, wie Hipparch es tat, den Mittelpunkt ihrer Bewegung irgendwo in den leeren Raum verlegte, d. h. in einen Punkt, der in keinerlei materieller Verbindung mit der Erde, dem vermeintlichen Zentrum der Welt, stand. Der Mittelpunkt der Mondbahn wurde ebenfalls

bald von Hipparch außerhalb der Erde verlegt; auch für ihn gab er die Richtung der Apsidenlinie, die Exzentrizität, Perigäum und Apogäum an. Endlich erkannte Hipparch auch, daß die Apsidenlinie des Mondes im Gegensatz zu der Knotenlinie, die sich rückläufig bewegt, einer vorschreitenden Bewegung unterworfen ist. Beide Bewegungen bestimmte Hipparch mit einer für seine Zeit geradezu bewundernswerten Genauigkeit, so daß sein Weltsystem wenigstens in dieser Hinsicht sich den Erfahrungen seiner Zeit auf das vollkommenste anpaßte, d. h. die Erscheinungen erklärte. Beispielsweise würde man nach den von Hipparch überlieferten Zahlen den Eintritt des Vollmondes für eine Epoche der gegenwärtigen Zeit, also nachdem 2000 Jahre vergangen sind, bis auf einen Tag genau vorausbestimmen können. Der große Astronom von Alexandrien begann auch die schwieriger zu durchschauenden Bewegungen der Planeten genauer zu untersuchen; aber es blieb seinem ihm geistig ebenbürtigen Nachfolger Ptolemäus vorbehalten, in dieser Richtung einen wesentlichen Schritt vorwärts zu tun.

Das Weltsystem des Ptolemäus, das bis zum Auftreten des Kopernikus, also über 1½ Jahrtausende, unbestritten herrschte, ist durchaus auf den Beobachtungen und Berechnungen Hipparchs aufgebaut worden. Ptolemäus entwickelte sein System in seinem berühmten „Almagest“, einem Werke, das bis in das späte Mittelalter hinein beinahe als eine göttliche Offenbarung verehrt wurde, an deren Aussprüchen zu zweifeln geradezu als ein Verbrechen galt.

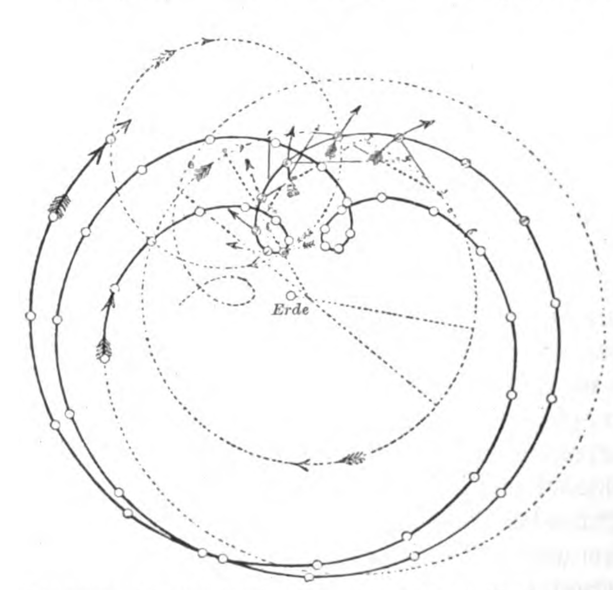
Ptolemäus behielt die exzentrischen Kreise des Hipparch unverändert bei, ließ aber die fünf eigentlichen Planeten (Sonne und Mond also ausgenommen) nicht direkt auf den Peripherien dieser Kreise laufen, sondern bewegte auf ihnen wiederum den Mittelpunkt je eines anderen Kreises, auf dem nun der Planet erst wirklich lief. Wir wollen uns durch eine möglichst handgreifliche Konstruktion diesen Mechanismus klar machen. Man befestige im Mittelpunkte der Erde eine verhältnismäßig kurze Stange, die so lang ist wie die Exzentrizität der Hipparchischen Kreisbahn des betreffenden Himmelskörpers. Diese Stange verbindet ersichtlich den Mittelpunkt der Erde mit dem Mittelpunkt der Kreisbahn; sie liegt genau in der Richtung der Apsidenlinie und ist ein Teil derselben. Am anderen Ende dieser Stange befestige man die Speichen eines ungeheuern Rades, das der Bahn des Himmelskörpers nach Hipparch entspricht. Wenn man nun auf dem Umfange dieses Rades einen Punkt besonders ins Auge faßt, der den Planeten vorstellen soll, und dann das Rad um den äußersten Punkt der Stange dreht, so macht dieser Punkt eine Bewegung, wie sie Hipparch bei Sonne und Mond voraussetzte; eine gleichzeitige langsame Drehung der Stange mitsamt dem ungeheuern Rade um den Mittelpunkt der Erde stellt die Bewegung der Apsidenlinie dar. Die Vervollkommnung, die Ptolemäus für die fünf Planeten noch einführte, bestand darin, auf der Peripherie des großen Rades den Mittelpunkt eines kleineren anzubringen, so daß dieser letztere Mittelpunkt von dem großen Rade im Kreise herumbewegt wurde, wie früher der Planet selbst; dieser aber bewegte sich erst auf der Peripherie des kleineren Kreises. Der größere Kreis wurde von Ptolemäus der Deferent, der kleinere Epizykel („Nebenkreis“) genannt, und danach hieß die ganze Bewegungsform eine epizyklische. Die Zeichnung auf Seite 566, oben, stellt den Mechanismus dieser Bewegung in der Form unserer handgreiflichen Hilfskonstruktion dar. Wir haben genau nach den Zahlenangaben des „Almagest“ in der unteren Zeichnung auf S. 566 die Bewegung des Planeten Mars um die Erde in den Ptolemäischen Epizykeln wiedergegeben und Seite 567 auch

die wahre Bewegung des Mars gestellt, wie sie nach unserem gegenwärtigen besten Wissen in den Jahren 1888—90 stattfand, jedoch in der Weise, daß die Erde ruhend gedacht ist. Die Vergleichung beider zeigt, wie erstaunlich ähnlich beide Kurven einander sind, wie richtig also bereits Ptolemäus das Verhältnis der wechselnden Entfernungen der beiden Planeten Erde und Mars voneinander aus seiner Theorie entnehmen konnte. Unsere zweite Zeichnung ist so entworfen, daß diese wahren Entfernungen, so wie sie stattfanden, richtig daraus zu entnehmen sind. Es wird uns dabei, nebenbei gesagt, nicht verwundern, daß die hier gezeichneten Schleifen ganz anders geformt sind als die wahren von der Erde gesehenen, die wir auf S. 559 und 560 darstellten, denn wir sehen in der Zeichnung auf S. 567 die Bewegungen von einem Punkte senkrecht über den Planetenbahnen, während die wahren Bewegungen, in der Richtung der Ekliptik gesehen, sich für uns entsprechend verkürzen. Wesentlich unterscheiden sich die beiden letztgegebenen Kurven nur dadurch, daß in der zweiten, die den wirklichen Verhältnissen entspricht, die zweite Schleife kleiner ist als die erste, während nach Ptolemäus alle Schleifen notwendig gleich groß werden mußten. So geringe Unterschiede waren indes damals noch nicht zu beobachten.



Epizyklischer Bewegungsmechanismus nach Ptolemäus. Vgl. Text, S. 565.

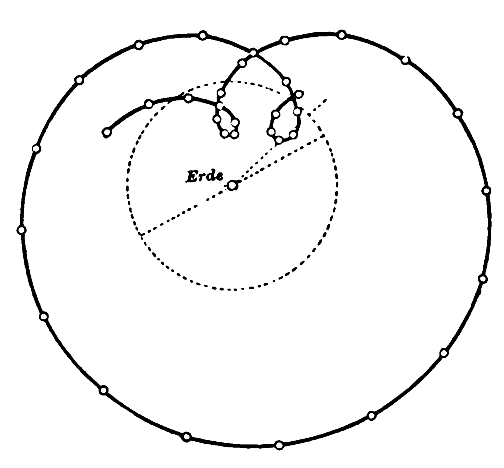
Wir haben nun diese neue Entwickelungsphase der Anschauung vom Weltgetriebe auf ihren reformatorischen Wert zu prüfen, denn wir wollen nicht aus dem Auge verlieren, daß es hier nicht unsere Absicht ist, einen Abriß der Geschichte der Astronomie zu geben, sondern daß wir nur scheinbar zufällig in eine Darstellung der geschichtlichen Entwickelung hineingeraten sind, während wir eine natürliche Entwickelung unserer eigenen Anschauung zu geben beabsichtigten, so wie sie sich notwendig gestalten muß, wenn wir immer neue Tatsachen der Beobachtung in unsere vorläufigen Erklärungen einführen und die letzteren danach modifizieren müssen.



Bewegung des Mars nach Ptolemäus. Vgl. Text, S. 565 u. 571.

Zunächst sahen wir, daß Ptolemäus die exzentrischen Kreise des Hipparch beibehielt, wie denn in der astronomischen Erkenntnis niemals ein Glied, das der Wahrheit näher kam, wieder verloren gehen konnte. Was Ptolemäus darüber hinaus tat, indem er die epizyklischen Kreise einführte, erscheint auf den ersten Blick beinahe als eine Entfernung von der Wahrheit. Dieses verwickelte Getriebe von zwei Rädern, von denen die Drehungsachse des einen auf dem Umfange des anderen herumgetragen wird, kommt uns

recht seltsam vor, und eine irgendwie genügende Erklärung von dem Urgrunde der Bewegungen war damit selbstverständlich nicht gegeben; über ihn nachzudenken, galt damals wohl überhaupt als eine unnütze Mühe, weil es ganz unmöglich erschien, ihn jemals zu erfassen. Hier lag also das Verdienst des Ptolemäus nicht. Es bestand vielmehr hauptsächlich darin, daß Ptolemäus zunächst mit der Ansicht des Sphärenbaues endgültig aufräumte, wenigstens insoweit die Planeten mit Sonne und Mond dabei in Betracht kamen; denn diese epizyklischen Kreise waren mit festen, durchsichtigen Sphären, an welche die Himmelskörper nach Eudoxus und den älteren Philosophen geheftet sein sollten, ganz unverträglich, da die Epizykel sie bald beträchtlich vor, bald hinter die betreffenden Sphären führen mußten. Ptolemäus zertrümmerte alle diese Sphären der Planeten und ließ nur die letzte, größte, bestehen, die an der Grenze des Weltalls die Schar der Fixsterne trug, deren Bewegung auch der aufmerksameren Beobachtung in einem genauen Kreis um den Mittelpunkt der Erde herum vorzugehen schien.



Wirkliche Bewegung des Mars in bezug auf die ruhend gedachte Erde. Vgl. Text, S. 566.

Ptolemäus war es also, dessen Gedankengang es zuerst wagte, eine freie Bewegung der Himmelskörper im Raume wenigstens zu ahnen; er zerschlug die alten starren Formen und eröffnete dadurch einer freieren Spekulation neue grundlegende Gesichtspunkte. Ein anderer großer Vorzug des Ptolemäischen Systems lag in seiner großen Geschmeidigkeit, die alle neuen Tatsachen der Beobachtung in dasselbe einzufügen erlaubte, indem man entweder die Exzentrizität oder den Halbmesser der Deferenten oder die Größe des epizyklischen Kreises je nach den Erfahrungen beständig änderte. Auch die bald entdeckte Neigung der Planetenbahnen gegen die Ekliptik bereitete dem System keine Schwierigkeiten; man brauchte nur entweder dem Epizykel oder dem Deferenten die entsprechende Neigung zu geben, um die beobachteten Abweichungen mit der Theorie in Einklang zu bringen. Man hätte ein kunstvolles Uhrwerk nach diesem Ptolemäischen Gedanken erfinden können, das, obgleich sich jedes seiner Räder ganz gleichmäßig schnell bewegte, doch die scheinbar ungleichförmige und schleifenbildende Bewegung richtig ausführte. Das System erfüllte also durchaus seinen Zweck: es war das denkbar beste für die geistige Höhenstufe der damaligen Zeit, ja es konnte sogar noch für viele kommende Jahrhunderte ausreichen.

So war es begreiflich, daß das Ptolemäische System den Verfall der berühmten Universität von Alexandrien lebenskräftig überdauerte und von den arabischen Eroberern Ägyptens, welche die Religion des Propheten der Welt mit dem Schwerte aufdrängen wollten, mit nach Bagdad hinübergenommen wurde, wo die Eroberer sich sehr bald an der hohen Entwickelung der von ihnen besiegten und hinsinkenden hellenischen Kultur selbst zivilisierten, ja sogar mit erstaunlicher Empfänglichkeit und Begeisterung an den überkommenen Geisteswerken weiter arbeiteten. So wird als charakteristischer Zug erzählt, daß der 786 geborene Kalif Al Mamum dem überwundenen griechischen Kaiser Michael II.

die Auslieferung sämtlicher in seinem Besitz befindlichen griechischen Manuskripte als Vorbedingung für den Abschluß des Friedens stellte, um sie übersetzen zu lassen. Unter ihnen befand sich auch das mehrfach genannte große Werk des Ptolemäus, das damals Syntaxis überschrieben war, später häufig als **Magna Constructio** bezeichnet wurde und uns nur durch die Fürsorge jenes Kalifen in arabischem Texte mit dem arabischen Titel Almagest erhalten blieb.

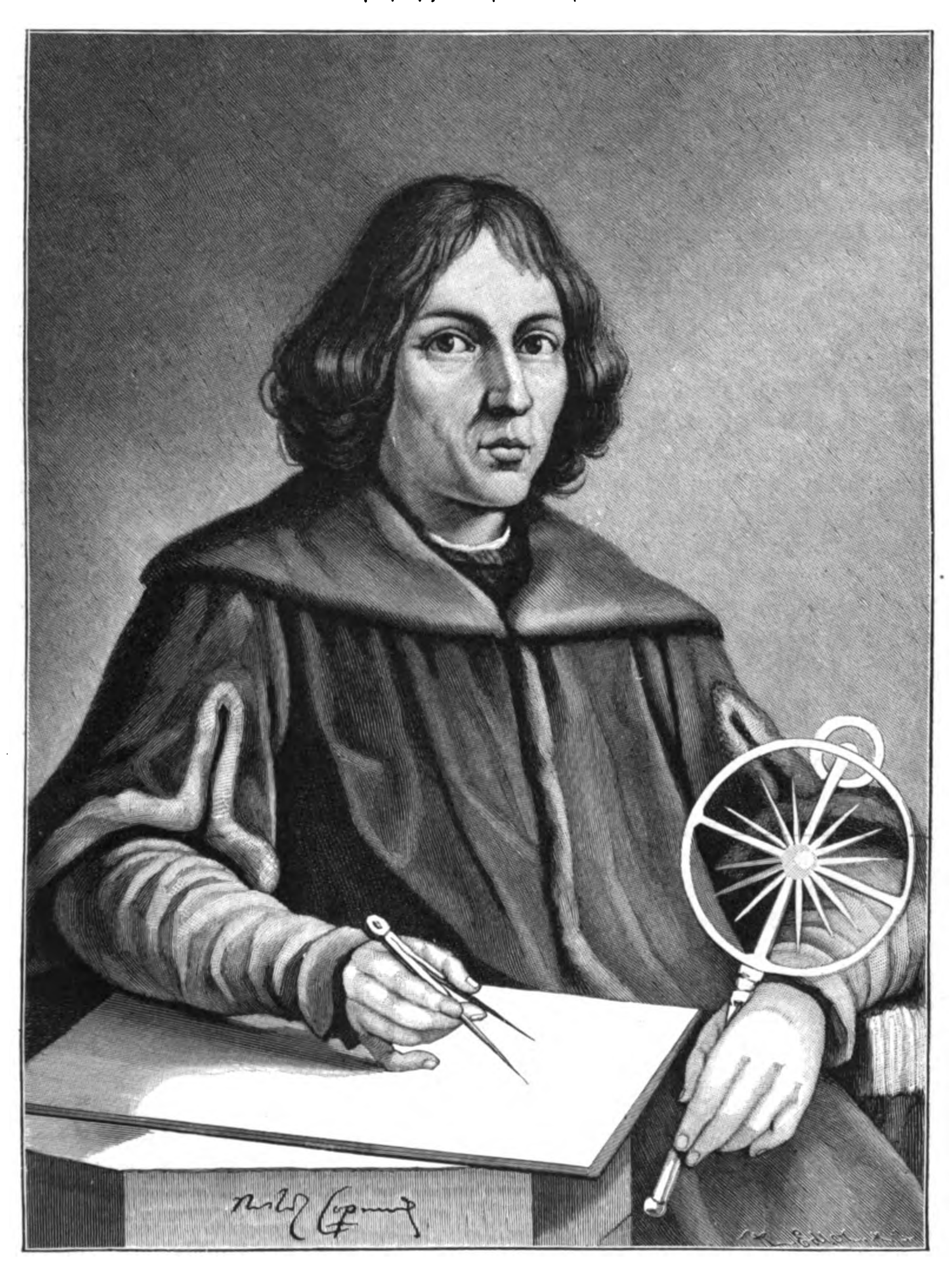
Die Araber trugen die von den Griechen überkommene Zivilisation in die von ihnen unterjochten Lande, besonders auch nach Spanien, wo am Hofe zu Toledo bald die edlen Könige selbst eifrige Verehrer der astronomischen Wissenschaft wurden. Hier interessierte sich auch der unglückliche Alfons X. von Kastilien (1223—84) für die Sternkunde und ließ mit ungeheuerm Aufwande die nach ihm benannten Alfonsinischen Tafeln der Planetenbewegungen berechnen, die unter Zugrundlegung des Ptolemäischen Systems die Vorausbestimmung der Örter aller himmlischen Körper für einen beliebig gewählten Zeitmoment gestatteten.

Aber die himmlische Maschine hatte sich inzwischen unter den Händen der mit so großem Eifer beobachtenden und rechnenden Astronomen durch die Übereinandersetzung immer neuer epizyklischer Kreise, die zur Ausgleichung neu entdeckter Ungleichheiten der Bewegung dienen sollten, so ungemein verwickelt, daß König Alfons, als ihm die gelehrten Astronomen bei Überreichung der Tafeln diese Maschine erklärten, in begreiflichem Unwillen die für ihn verhängnisvollen Worte aussprach: „Wenn mich Gott bei Erschaffung der Welt zu Rate gezogen hätte, so würde ich ihm größere Einfachheit empfohlen haben." Dieser unbesonnene Ausspruch wurde von den Feinden des „weisen" Königs, als sich ein Aufstand gegen ihn erhoben hatte, benutzt, um ihn der Gotteslästerung zu zeihen. So mußte dieser erste königliche Zweifler an dem Ptolemäischen Weltsystem zum Lohn für seine berechtigte Kritik vom Throne seiner Väter herabsteigen und starb verlassen von allen seinen Getreuen in der Verbannung zu Sevilla.

Indem wir, weiter vorschreitend, von den Lehren des Kopernikus und später von denen des Kepler zu reden haben, können wir für diese durchaus keine höhere Rangstufe beanspruchen; nur hatten ihre Weltsysteme eine größere Wahrscheinlichkeit für sich. Auch den Weg, den diese Denker einschlugen, konnten sie nur tastend betreten, ohne die volle Überzeugung zu gewinnen, daß auf ihm wirklich die Wahrheit erreicht werden mußte.

Wir knüpfen bei Ptolemäus wieder an und geben zunächst in der folgenden kleinen Tabelle die Zahlen, die der alexandrinische Gelehrte für die Bewegungen der Planeten auf ihren Epizykeln und für die der Epizykel selbst auf ihrem deferierenden Kreise, dem Deferenten (S. 565), angegeben hatte:

Planeten	Bewegung im Epizykel in einem Tage	Tägliche Bewegung des Mittelpunktes des Epizykels auf dem deferierenden Kreise	Summe
Sonne	0° 0′ 0,0″	0° 59′ 8,3″	0° 59′ 8,3″
Merkur	3 6 21,4	0 59 8,3	4 5 32,4
Venus	0 36 59,4	0 59 8,3	1 36 7,7
Mars	0 27 41,7	0 31 26,6	0 59 8,3
Jupiter	0 54 9,0	0 4 59,3	0 59 8,3
Saturn	0 57 7,7	0 2 0,6	0 59 8,3



Nikolaus Kopernikus, geb. 19. Febr. 1473 in Thorn, gest. 24. Mai 1543 in Frauenburg. Nach einem gleichzeitigen Bildnis.

Wir erkennen in dieser Zusammenstellung die auffällige Tatsache, daß die Bewegung des Mittelpunktes des Epizykels von Merkur und Venus genau ebenso schnell erfolgt, wie die der Sonne um die Erde. Dann tritt eine Grenze ein, von der ab die Zahlen allerdings

verschieden werden, jedoch so, daß von nun ab die Summen der beiden Bewegungen, also der des Epizykels und der des deferierenden Kreises, wieder genau diese selbe Bewegung der Sonne ergeben. Die Bewegung der Sonne ist also überall in den Planetenbewegungen enthalten, und diese Übereinstimmung mußte in der Tat ungemein seltsam erscheinen. Sie legte die Frage nahe, ob nicht diesen sechs ganz gleichen Zahlenwerten, welche die Bewegungserscheinungen darstellten, eine gemeinsame Ursache zugrunde liege.

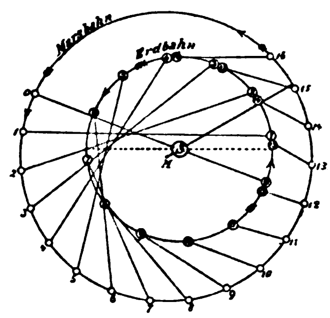
Es ist kaum daran zu zweifeln, daß während der 1½ Jahrtausende, die zwischen Ptolemäus und Kopernikus verflossen, sich viele Denker diese Frage gestellt haben, wenngleich die Annalen hierüber unseres Wissens nichts berichten. Daß diese unbekannten Denker solche Meinungen durch das Schrifttum uns nicht zurückgelassen haben, liegt gewiß nur an dem Schrecken, der sie selbst vor der Ungeheuerlichkeit der einzig möglichen Erklärung überkommen mußte, daß nämlich die Erde mit ihren weitausgedehnten Kontinenten und Meeren, mit ihren Millionen und Abermillionen geschäftig lebender Wesen, daß diese Grundfeste des Lebens, der bisher unerschütterliche Mittelpunkt des ganzen Weltgebäudes, mitsamt seiner wohlorganisierten Ordnung des Naturgetriebes, sich frei durch den Raum bewegen solle. Sobald dieser Gedanke auch nur einen Moment auftauchte, mußte er von Geistern, denen nicht eine ungewöhnlich große Überzeugungskraft innewohnte, als wahnwitzig wieder fallen gelassen werden. Am Ende konnte man sich immerhin einen übertragenden Uhrwerkmechanismus denken, durch den die Sonnenbewegung direkt in die Epizykel der Planeten eingriff.

Um so mehr muß man die gewaltige Geisteskraft und den Überzeugungsmut eines Kopernikus bewundern, der es wagte, diesen abenteuerlichen Gedanken festzuhalten und mit unerschütterlicher Energie wissenschaftlich streng auszuarbeiten. Dieses unsterbliche Verdienst (doch nicht dasjenige, diesen Gedanken zuerst gehabt zu haben) bleibt dem Domherrn von Frauenburg. Denn wir dürfen nicht anzuführen vergessen, daß zwei griechische Denker selbst schon mehrere Jahrhunderte vor Ptolemäus die feste Überzeugung von der zentralen Stellung der Sonne gewonnen und ausgesprochen hatten: Plato und Aristarch. Von der Ansicht des Plato schreibt Plutarch, „daß er die Erde nicht mehr in der Mitte des Ganzen gelassen, sondern diesen Platz einem besseren Gestirne eingeräumt habe". Und von Aristarch teilt Archimedes wörtlich übersetzt mit: „Nach seiner Meinung ist die Welt viel größer, als soeben gesagt wurde, denn er setzt voraus, daß die Sterne und die Sonne unbeweglich seien, daß die Erde sich um die Sonne als Zentrum bewege, und daß die Fixsternsphäre, deren Zentrum ebenfalls in der Sonne liege, so groß sei, daß der Umfang des von der Erde beschriebenen Kreises sich zu der Distanz der Fixsterne verhalte wie das Zentrum einer Kugel zu ihrer Oberfläche." Mit diesem letzteren Vergleich war offenbar angegeben, daß Aristarch die Entfernung der Fixsterne gegen die Entfernung der Sonne von uns für unendlich groß hielt. Seine Weltanschauung entsprach also in allen wesentlichen Stücken völlig der unsrigen. Aber der Gedanke war damals verfrüht, weil der Entwickelung seiner Zeit vorauseilend; er fand keine vorgebildete Grundlage seiner Existenz und mußte deshalb notwendig wieder untergehen.

Noch ist in dieser Beziehung charakteristisch, daß Aristarch ebenso wie nachmals die begeisterten Kämpfer für die Kopernikanische Lehre, so hauptsächlich Galilei, wegen dieser weltstürmerischen Lehre der Gotteslästerung angeklagt wurde. Plutarch sagt in einem seiner Gespräche: „Hänge uns nur keinen Prozeß wegen Unglaubens an den Hals, Teuerster,

wie einst Kleanthes meinte, ganz Griechenland müsse den Samier Aristarch als Religionsverächter, der den heiligen Weltherd verrücke, vor Gericht stellen, weil nämlich der Mann, um die Himmelserscheinungen richtig zu stellen, den Himmel stillstehen, die Erde dagegen in einem schiefen Kreise sich fortwälzen und zugleich um ihre eigene Achse drehen ließ."

Aber erst im Geiste des Kopernikus war, wie erwähnt, die Überzeugung von der Bewegung der Erde um die Sonne fest genug geworden, um sie mit Konsequenz durchführen und verteidigen zu können. Durch diese Lehre fielen sofort die meisten Epizykel weg. Indem man die Erde mit den übrigen Planeten um die Sonne als Zentrum kreisend denkt, lassen sich alle beobachteten Bewegungen ebensogut wie in dem Ptolemäischen System darstellen, und die seltsame Beziehung der epizyklischen Bewegung der Planeten zu der der Sonne war auf die gemeinsame Ursache, nämlich auf unsere eigene Bewegung im Raume zuückgeführt. Daß in der Tat unter dieser neuen Voraussetzung die beobachteten Schleifen fast genau so wie im Ptolemäischen System entstehen, läßt sich aus der nebenstehenden Zeichnung ablesen. Es sind in ihr die Kreisbahnen von Erde und Mars nach den Dimensionen, die Kopernikus dafür gab, eingezeichnet, dann auf beiden Kreisen Orte der Erde und des Mars angegeben, wobei die gleichzeitig stattfindenden Stellungen der beiden Planeten mit gleichen Zahlen von 0—16 bezeichnet sind. Diese Orte wurden jedesmal durch gerade Linien verbunden. Würden wir diese um einen festen Punkt so auftragen, daß ihre Richtung und Länge beibehalten wird wie in dieser Zeichnung, so ergäbe die Verbindung der neuen Punktreihe dieselbe Schleifengestalt, wie wir sie auf S. 566, unten, als Bewegung des Mars nach Ptolemäus abgebildet haben. Ganz wesentlich vereinfachend wirkte auch die Lehre von der Achsendrehung der Erde, denn dadurch wurde der Umschwung der ungeheuern Fixsternsphäre in einem Tage, der zugleich alle Planeten durch einen unbekannten Übertragungsmechanismus mit sich reißen mußte, wiederum durch eine einzige Ursache erkärt. An Ausdehnung mußte der Erdkörper jedenfalls bedeutend kleiner sein als die Fixsternsphäre, daran konnte keine Weltansicht zweifeln, welche die Erde kugelförmig annimmt, und deshalb war es auch von vornherein wahrscheinlicher, daß sie und nicht der Fixsternhimmel mit allen seinen Planeten in einem Tage um sich selber kreiste.



Bewegung des Mars und der Erde nach Kopernikus.

Aber von den übrigen Grundlagen des Ptolemäischen Systems konnte sich auch Kopernikus nicht lossagen. Eben weil er die eigentliche Ursache aller dieser Bewegungen noch nicht kannte, blieb ihm nichts anderes übrig, als einen festen, uhrwerkartigen Bewegungsmechanismus vorauszusetzen, der es nur mit vollkommenen Kreisen zu tun hatte. Das Aristotelische Axiom von der gleichförmigen Bewegung im Kreise wagte er deshalb trotz der großen Kühnheit seiner übrigen Gedanken nicht anzugreifen. Er behielt die deferierenden, exzentrischen Kreise des Hipparch bei und setzte sogar wieder neue Epizykel darauf, die allerdings eine ganz andere Bedeutung hatten als die ptolemäischen. Während die letzteren nur das perspektivische Bild unserer eigenen Bewegung im Raume darstellten, sollten jene viel kleineren Epizykel des Kopernikus eine zweite, noch übrigbleibende Ungleichförmigkeit in der Bewegung erklären, die durch die Beobachtungen inzwischen aufgedeckt worden und durch die exzentrisch gestellten Kreise allein theoretisch nicht wiederzugeben war.

Wie sehr Kopernikus noch in dieser uralten Ansicht von umschwingenden Kreisen oder Sphären befangen war, geht auch aus der Schwierigkeit hervor, die ihm die im Raume stets gleichbleibende Lage der Erdachse verursachte. Solange die Erde noch im Zentrum des Weltalls festlag, konnte, selbst wenn man sie sich um eine Achse gedreht dachte, die feste Lage dieser Achse zu den Fixsternen nicht auffallen. Anders wurde es aber, sobald man die Erde im Kreis um die Sonne führte. Nehmen wir einmal für die Erdbahn irgendeine materielle Grundlage, z. B. ein festes Rad, an, denn etwas Ähnliches mußte man von Ptolemäus bis Kopernikus als vorhanden voraussetzen, und befestigen wir darauf den Erdglobus derart mit seiner Achse, daß sie gegen die Ebene des Rades eine gewisse Neigung hat, etwa so, daß sich der Globus nach dem Zentrum hinneigt (s. die Zeichnung, S. 573), so wird, wenn das Rad mit dem befestigten Globus eine halbe Umdrehung ausführt, der Globus immer nach innen zum Zentrum geneigt bleiben. So hätte es sich mit der Erde nach der Ansicht des Kopernikus verhalten müssen, wenn die Erscheinung ohne besondere Erklärungsursache begreiflich sein sollte.

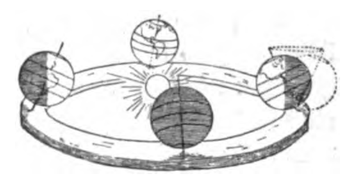
In Wahrheit zeigt aber das Spiel des Jahreszeitenwechsels unzweifelhaft, daß das Verhältnis ein ganz anderes ist. Wenn nämlich in einer bestimmten Lage die Neigung des oberen Endes der Erdachse in unserem Beispiel nach innen gerichtet ist, so muß sie, um den wirklichen Verhältnissen zu entsprechen, nach einer halben Umdrehung nach außen geneigt sein, ihre Lage muß sich stets parallel bleiben. In dem beschriebenen Mechanismus können wir das nur erzeugen, wenn wir die Erdachse an dem Rade nur insoweit befestigen, daß sie zwar den Globus halten, sich selbst aber frei bewegen kann. Dann müssen wir noch eine geheimnisvolle Kraft einführen, welche die Achse in der einmal angenommenen Richtung unabhängig vom Rade festhält. Kopernikus war demzufolge genötigt, neben der Bewegung der Erde um ihre Achse und um die Sonne noch eine dritte einzuführen, nämlich die jährlich einmal vollendete Bewegung der Erdachse selbst auf der Fläche eines Kegels, dessen Öffnungswinkel gleich der doppelten Schiefe der Ekliptik ist. Die Ursache dieser drei Bewegungen blieb Kopernikus natürlich unbekannt, denn nach ihr hatte man bisher überhaupt noch nicht gefragt.

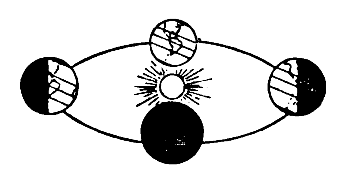
Wir sehen, daß das System des Kopernikus immerhin noch recht kompliziert und wenig durchsichtig blieb, und daß der große Astronom trotz der revolutionären Ideen, die er einführte, wesentliche Irrtümer der alten Lehre beibehielt. Sein Geist wurde von dem gewaltigen Gedanken, daß die Erde nicht das Bewegende, Herrschende, sondern ein Bewegtes, einem größeren Mittelpunkte der Macht Gehorchendes sei, so erfüllt, daß seine Gedanken hier gebannt Halt machen mußten. Es war auch einer Lebensaufgabe genug getan, die menschliche Forschungskraft um ein so unbegrenzt großes Gebiet erweitert zu haben. Bis dahin gab es nur e i n e Erde, jetzt wurden fünf neue, ihr ebenbürtige, die übrigen Planeten ihr beigesellt und über alle eine allmächtige Sonne eingesetzt, die Tausende ihresgleichen über die Himmelsdecke ausgestreut sah. Ehedem hatte man alles dies in einem wenigstens ausdenkbaren Verhältnis zu der schon ohnehin kaum faßlichen Größe der Erde gedacht; nun mußte die Erde mit allem, was auf ihr lebt und denkt, in der gewaltig erweiterten Weltansicht zu einem Spielball, ja zu einem Punkte zusammenschrumpfen, dessen ungeheure, von unsichtbaren Gewalten geführte Reise durch den Raum um die Sonne herum kaum wie das Spiel eines Kreisels erschien, der umschwirrend leichte Bogenlinien auf seiner Unterlage beschreibt. Der Fortschritt der Forschung mußte wenigstens eine kurze Zeit lang



ruhen, damit die stärksten unter den Geistern sich zur Aufnahme dieser überwältigenden Weltansicht genügend erweitern konnten.

Kaum ein Jahrhundert verfloß indes, bis ein so eminenter Geist wie Kepler (s. Abbildung, S. 7) die neue Lehre in sich aufnahm und in lebendigster Schaffenskraft von Grund auf neu durcharbeitete. Es wäre nach dem gewöhnlichen Maße der geschichtlichen Entwickelung möglich gewesen, daß zwischen Kopernikus und Kepler eine nicht geringere Zeitspanne verflossen wäre als zwischen Ptolemäus und Kopernikus; wir können uns deshalb unendlich glücklich schätzen, daß wir zu den Epigonen jener Geistesheroen zählen, die unserem seelischen Auge einen universalen Weitblick von dem ungeheuern Umfange des Milchstraßenringes von Sonnen, über die wir heute nachdenken können, verschafften, während das Auge des Menschen ehemals in blinder Kurzsichtigkeit kaum über die uns tragende Erdscholle hinaus, jenes verlorene Sandkörnchen im Weltgetriebe, seinen bedrückend engen Horizont ausdehnte. Kopernikus hat uns zwar die Möglichkeit zu diesem Weitblick verschafft, aber er war noch allzusehr eingeengt in den kleinlichen, verwickelten Uhrwerkmechanismus der übernommenen Ptolemäischen Epizykel. Dem erleuchteten prophetischen Geist eines Kepler konnten diese verworrenen Räder nicht genügen; er war von der großen Einheit des Weltgebäudes, vom Vorhandensein eines ersten, allgemeinsten Grundprinzips aller Erscheinungen zu sehr überzeugt, als daß er an das Vorhandensein so vieler kleiner Ursachen für die Bewegungen, wie sie die neuen Epizykel des Kopernikus immer wieder nötig machten, glauben konnte.





Bewegung der Erdachse nach Kopernikus und ihre wirkliche Lage. Vgl. Text, S. 572.

Die Sonne, um die nun nach Keplers Überzeugung alle Planeten in gewaltigem Umschwunge kreisten, und in der also die Grundkraft wohnte, die auch unsere Erde mit dem kleinen Menschenvolk an unsichtbarem Bande regierte, diese Sonne war ihm die Seele der Welt, deren überirdische Kraft nach wohl noch unbekannten, aber nach seiner innersten Überzeugung erforschlichen, einfachen Gesetzen alle diese imposanten Bewegungserscheinungen verursachte. Es war ohnehin längst unwahrscheinlich geworden, daß die Planeten untereinander und mit der Sonne durch irgendeinen festen Mechanismus, von dem man doch irgendwo einmal eine Spur bemerkt haben müßte, verbunden seien. Die bewegende Kraft mußte unsichtbar, wie die Kraft der Seele, von einem Körper zum anderen überströmen, und diese bewegende Seele der Welt konnte nirgends anders als in der alles belebenden, alles beglückenden und in der unnahbaren Lichtfülle göttlicher Majestät im Mittelpunkte der Welt thronenden Sonne wohnen.

Eine solche einheitliche Kraft konnte sich mit logischer Notwendigkeit nur durch einheitliche Gesetze kundgeben. Diese zu finden, setzte sich Kepler zur Lebensaufgabe, die er, so glücklich wie kein anderer im Suchen und Finden, völlig gelöst hat. Kepler fand die drei Grundgesetze, nach denen alle Bewegungen in den unermeßlichen Himmelsräumen bis zu den Grenzen des von unseren weltdurchdringenden Fernrohren zu erforschenden Gebietes stattfinden, und zwar fand er jedes dieser Gesetze für sich durch eine Verbindung mühsamer mathematischer Kombinationen, mit einer sozusagen künstlerischen Divinationsgabe.

Zu beweisen, daß diese drei Gesetze, die wir bald kennen lernen werden, untereinander in einem notwendigen Zusammenhange stehen, hat er nicht vermocht. Bevor Newton auftrat, hatte das System Keplers deshalb vor dem des Kopernikus streng logisch nicht mehr voraus als das letztere vor dem Ptolemäischen, indem es bei sehr wesentlicher Vereinfachung des Mechanismus die Beobachtungen noch ein wenig besser darstellte, als es seinem Vorgänger gelungen war. Kepler suchte sein System zu demselben Zweck wie Kopernikus und Ptolemäus: er wollte die Beobachtungen mit einer bestimmten, willkürlich gewählten Hypothese über den Bau des Sonnensystems in möglichst guten Einklang bringen. Daß er nacheinander drei sich ergänzende Grundhypothesen oder Gesetze fand, die durch die spätere Newtonsche Theorie als die allein denkbaren und notwendigen Konsequenzen eines einzigen, noch einfacheren und umfassenderen Gesetzes erwiesen wurden, war eine Leistung ohnegleichen, weshalb wir Kepler als den glücklichsten aller Entdecker bezeichnen müssen.

Es ist eines der interessantesten Kapitel der Geschichte der Entwickelung des menschlichen Geistes, den Werdeprozeß zu verfolgen, durch den Kepler zu ebendieser Erkenntnis gelangte: wie sein phantasievoller, klarer Geist, durchdrungen von der Überzeugung einer alles lenkenden Weltseele, sich zunächst mit voller Inbrunst dem uralten schönen Gedanken von der Harmonie der Sphären hingibt, wie er sich in seinem Erstlingswerke, dem „Mysterium cosmographicum", in der weiteren Ausbildung der idealistischen Anschauung eines Plato ergeht, um auf einmal, gleichsam erleuchtet von einem höheren Geiste, eine ganz neue Richtung einzuschlagen, in deren Verfolgung er die höchst mühsame Arbeit langer Jahre, die in seinem Erstlingswerke niedergelegt war, selbst wieder vernichtet. Es ist ungemein fesselnd, zu sehen, wie er endlich, nachdem er die endgültige Ordnung in das Weltgetriebe getragen hat, sich dennoch entschließt, sein Erstlingswerk in einer zweiten Auflage herauszugeben, um der Welt zu zeigen, wie auch diese Irrungen eines in sich einheitlichen Geistes überall die Keime der Wahrheit tief innerlich enthalten und aus einer und derselben Wurzel emporwachsen mußten: der unerschütterlichen Überzeugung von der Einheit des Weltgetriebes.

Leider aber können wir uns bei diesen geschichtlichen Darstellungen, da wir der Beweisführung von der Wahrheit dieser Gedanken etwas näher treten müssen, nicht länger aufhalten. Es sei nur erwähnt, daß Kepler in seinem „Mysterium cosmographicum" den Beweis zu führen versuchte, daß man imstande sei, in die zwischen den sechs Planetensphären enthaltenen fünf Zwischenräume die fünf regulären geometrischen Körper gerade so einzuschieben, daß je einer dieser Körper von einer bestimmten Sphäre an seinen Ecken von außen umspannt, von der nächst kleineren, d. h. der Sonne näheren, Planetensphäre dagegen an seinen Flächen von innen berührt wurde. Daß dies ungefähr stimmte, war ein bloßer Zufall, wobei Kepler außerdem die damalige ungenaue Kenntnis der Planetenentfernungen zugute kam. Diese Andeutung genügt, um zu erkennen, wie sehr Kepler seiner Zeit noch von den pythagoreischen Ansichten über die Sphären und harmonischen Zahlenverhältnisse beherrscht wurde.

Die das Weltgetriebe an sich so wesentlich vereinfachende Idee des Kopernikus hatte in die geometrische Darstellung der Bewegungen insofern eine neue Schwierigkeit getragen, als wir nun alle Bewegungen von einem selbst bewegten Standpunkte aus betrachten müssen, während vorher alles auf das ruhende Erdzentrum bezogen wurde. Die erste und notwendigste Aufgabe war deshalb für den großen Nachfolger des Kopernikus, eine exakte geometrische Methode zu finden, durch welche die von der bewegten Erde aus gesehenen

Bewegungen auf das allgemeine Zentrum, die Sonne, bezogen werden konnten, so daß sich jederzeit berechnen ließ, in welcher Richtung ein Planet, dessen Lage zu den Sternen man von der Erde aus gemessen hatte, zur selben Zeit von der Sonne aus gesehen werden würde. Auf den ersten Blick erscheint es dem an diese wandelnde Scholle gefesselten Menschen sehr schwer, die ungeheure Gedankenbrücke von der Erde zur Sonne über die grundlose Leere hinweg zu schlagen. Wir werden jedoch sehen, wie ungemein einfach sich die Lösung dieser Aufgabe in Wirklichkeit gestaltet.

Zu diesem Zwecke kommt uns besonders die Stellung der Planeten zustatten, die wir als Opposition kennen. Der Moment, in dem sie eintritt, ist von der Erde aus unmittelbar und mit voller Schärfe zu beobachten. Die Definition der Opposition ist bekanntlich die, daß die ekliptikale Länge der Sonne (vgl. S. 432) und des betreffenden Planeten in diesem Moment genau 180 Grad oder einen halben Kreisumfang verschieden sein soll; die drei Körper Sonne, Erde und Planet befinden sich dann also, abgesehen von der geringen Neigung der Planetenbahn gegen die scheinbare Sonnenbahn, offenbar in gerader Linie hintereinander. Das bedeutet aber nichts anderes, als daß nun der Planet, von der Sonne gesehen, in genau derselben Richtung stehen muß, wie wir ihn von der Erde aus beobachten, denn beide Richtungen liegen in einer geraden Linie. Für diesen besonderen Fall können wir uns also im Geiste unmittelbar auf die Sonne versetzen und mit vollkommener Sicherheit wissen, ohne jede Voraussetzung über die wahre Beschaffenheit des Sonnensystems (was wohl zu merken ist), in welcher Winkelentfernung vom Frühlingspunkte der Planet sich in diesem Augenblicke, von der Sonne aus gesehen, befunden hat. Diesen Winkel nennt man die heliozentrische Länge des Planeten, im Gegensatz zu seiner geozentrischen, vom Erdmittelpunkt aus gesehenen Länge, die nur zur Zeit der Opposition mit der ersteren übereinstimmt.

Nachdem wir uns Zeit und Länge für eine erste dieser Oppositionen gemerkt haben, lassen wir den Planeten seinen schleifenbildenden Weg am Himmel weiter beschreiben, ohne uns zunächst um ihn zu kümmern, bis er einer zweiten Opposition nahe kommt. Diese findet, wie wir leicht wahrnehmen, statt, während der Planet in einer anderen Richtung steht als bei der ersten Opposition. Wir merken uns wieder die genaue Zeit und die Länge des Planeten. Ebenso verfahren wir bei der nächstfolgenden Opposition und so fort, bis die Oppositionslänge des Planeten ungefähr dieselbe geworden ist wie bei der ersten beobachteten Opposition, oder bis der Ort der Opposition am Himmel etwa einen ganzen Umkreis beschrieben hat. Wir geben die direkten Beobachtungsresultate, die wir auf diese Weise für den Planeten Mars erhalten, hier unten an. Es fanden Oppositionen des Mars statt an folgenden Tagen, und der Planet befand sich dabei in den beigeschriebenen Richtungen:

Oppositionszeit			t	Intervall in Tagen	l	Intervall
Jahr	Monat	Zeit				
1875	Juni	19,87	170,87		268,57°	
				808,63		434,90°
1877	September	5,50	248,50		343,47	
				797,85		426,64
1879	November	12,35	316,35		50,11	
				775,38		405,56
1881	Dezember	26,73	360,73		95,67	
				766,26		396,42
1884	Januar	31,99	31,99		132,09	
				764,04		393,91
1886	März	6,03	65,03		165,90	
				767,74		395,89
1888	April	10,77	101,77		201,79	
				775,53		404,61
1890	Mai	27,30	147,30		246,40	
				800,47		425,85
1892	August	3,77	216,77		312,25	

In den ersten drei Kolumnen dieser Tabelle ist die Oppositionszeit bis auf Hundertteile des Tages angegeben, bezogen auf den Meridian von Greenwich; in der folgenden, mit t überschriebenen Reihe sind dieselben Zeiten noch einmal vom Anfange des betreffenden Jahres ab, in fortlaufenden Tagen gerechnet, aufgeschrieben. Die nächstfolgende Reihe enthält das Intervall zwischen zwei Oppositionen in Tagen, also die synodischen Umlaufszeiten des Planeten, die, wie wir sehen, nicht gleichlang sind. Dann folgen unter l die zugehörigen geozentrischen und zugleich heliozentrischen Längen und endlich die Anzahl von Graden, die der Planet am Himmel zwischen zwei hintereinander folgenden Oppositionen durchlaufen hat: sie ist gleich der Differenz zweier benachbarter Längen l, vermehrt um 360°, denn der Planet hat, von der Erde aus gesehen (und von der Sonne aus muß es offenbar ebenso sein), zunächst einen ganzen Umkreis und dann noch jenes zwischen zwei Oppositionsorten liegende Stück durchlaufen.

Aus der denkenden Betrachtung dieser verhältnismäßig wenigen Beobachtungsdaten können wir schon höchst interessante Schlußfolgerungen über die Bewegung des Planeten ziehen, wie sie sich, von der Sonne aus gesehen, darstellen muß. Zunächst bemerken wir in der Aufeinanderfolge der Werte für die Länge keinerlei Anzeichen einer zeitweilig rückläufigen Bewegung, wie sie, von der Erde aus gesehen, in den Schleifen hervortritt. Zwar sind die gefundenen heliozentrischen Längen nur vereinzelt je aus einem ganzen Umlaufe des Planeten um den Himmel des Sonnenbeobachters herausgenommen, und von vornherein können wir allerdings nicht wissen, ob nicht jedesmal in dem übrigen Teile der scheinbaren Bahn des Planeten um die Sonne (denn scheinbar müssen wir sie noch nennen, solange die Bewegung der Erde um die Sonne nicht endgültig bewiesen ist) letztere eine ganz ähnliche Schleife beschreibt, wie von der Erde gesehen. Aber wir können uns leicht überzeugen, daß auch jede beliebige Reihe von Punkten, die in ungefähr gleichen Zwischenräumen aus einer Bahnlinie herausgenommen und für sich einzeln wieder zu einer solchen zusammengestellt werden, die Form der eigentlichen Bahnlinie annehmen wird. Würden wir z. B. die geozentrische Länge des Mars alle Jahre einmal, doch nicht gerade nur zur Oppositionszeit, messen und auf einem Himmelsglobus aufzeichnen und diese Operation eine längere Reihe von Jahren hindurch wiederholen, so würde die so erhaltene Reihe von Punkten sich schließlich zu einer schleifenbildenden Kurve zusammenfügen lassen. Die hier angeführten Längen aber enthalten davon nichts; sie sind allerdings wohl in zu großen Zwischenräumen über den ganzen Umkreis verteilt, um allein einen strikten Beweis für das Fehlen von Umkehrpunkten abzugeben. Würde man indes die Oppositionen beliebig weit zurückverfolgen, so fände man dennoch nirgends eine sehr starke Anhäufung dieser Richtungslinien an irgendeiner Stelle des Umkreises, wie es an Punkten sein müßte, wo der Planet wegen seines Überganges aus rechtläufiger in rückläufige Bewegung besonders lange verweilt. Die nähere Betrachtung der Oppositionsorte hat uns also an sich beweisen können, daß der Planet Mars (und für alle übrigen hätten wir dasselbe gefunden) von der Sonne aus gesehen nur eine rechtläufige Bewegung hat, d. h. keine Schleifen bildet.

Es ist sehr merkwürdig, daß man diesen Satz ohne irgendwelche Voraussetzung über die wahre Form des Sonnensystems aufstellen konnte. Auch Ptolemäus hätte ihn finden können, wenn ihm die genügende Zahl von Beobachtungen zu Gebote gestanden hätte. Er würde dann sofort erkannt haben, daß die Bewegungserscheinungen sich, von der Sonne



gesehen, bedeutend vereinfachen, und hätte vielleicht selbst die Keplersche Stufe erstiegen. Das war ihm indes ebensowenig wie Kopernikus möglich, weil beiden die Beobachtungen fehlten, die Kepler namentlich aus dem Nachlaß des großen dänischen Astronomen Tycho Brahe, dann aber auch durch den Fleiß aller übrigen Astronomen zu Gebote standen, die sich seit Ptolemäus mit der exakten Verfolgung der Bewegungen, wie sie uns erscheinen, befaßt hatten, um den Spekulationen über die wahren Bewegungen eine möglichst solide Grundlage zu verschaffen.

Wir können aber aus den vorliegenden Oppositionsbeobachtungen noch weiteren Aufschluß über die besonderen Eigentümlichkeiten dieser heliozentrischen Bewegung erhalten. Zuerst versuchen wir, die wahre Umlaufszeit des Planeten um die Sonne zu ermitteln.

Unsere Tabelle auf S. 575 zeigt uns, daß Mars zwischen dem 19. Juni 1875 und dem 27. Mai 1890 nahezu acht Umläufe vollendet haben muß, wie ein einfaches Abzählen der Gradintervalle ergibt. An acht vollen Umläufen fehlen noch 268,57—246,40° = 22,17°. Wir machen nun die vermutlich nicht ganz richtige, jedoch nach den vorangegangenen Betrachtungen sich jedenfalls nicht wesentlich von der Wahrheit entfernende Annahme, daß die Bewegung des Mars um die Sonne ganz gleichmäßig schnell geschieht. Wir finden dann, daß 22,17 : 360 oder 0,0616 Teile des ganzen Umlaufes in dem fraglichen Augenblick an acht vollen Umläufen des Planeten fehlen. Die Zeit von der ersten bis zur zweitletzten der aufgeschriebenen Oppositionen umfaßt 5455,43 Tage. Während dieser Zeit fanden nach unserer Rechnung 8 — 0,0616 gleich 7,9384 Umläufe statt. Beide Zahlen geben durch einander dividiert 687,21 Tage für die siderische Umlaufszeit des Planeten um die Sonne. Diese Zahl wird wegen der oben gemachten Voraussetzung der gleichförmig schnellen Bewegung vermutlich nur annäherungsweise richtig sein. Wir können uns jedoch ihrer bedienen, um die Eigentümlichkeiten dieser Bewegung näher kennen zu lernen, und dann unsere eben gemachte Rechnung danach zu korrigieren. Ein solches schrittweises Verfahren wird bei der Lösung aller hauptsächlichsten astronomischen Probleme stets angewendet.

Wir zählen zu diesem Zwecke die gefundene Umlaufszeit zunächst zur Zeit der ersten Opposition (1875) hinzu und erhalten 170,87 + 687,21. Um diese Zeit (wie sie sich bürgerlich ausdrückt, brauchen wir hier nicht zu ermitteln) kehrt also Mars, von der Sonne aus gesehen, wieder in seine erste Richtung zurück, d. h. seine heliozentrische Länge ist dann 268,57°. Indem wir die angegebene Zeit von der der nächsten Opposition (1877: 248,50 t) abziehen, erfahren wir, wieviel Zeit verfließt, bis der Planet von jener Stellung 268,57° zu dem nächsten Oppositionsorte 343,47° vorgeschritten ist. Diesen Zeitabschnitt erhalten wir aber noch einfacher, wenn wir von der Zwischenzeit zweier aufeinander folgenden Oppositionen, die „wahre synodische Umlaufszeit" genannt, die siderische Umlaufszeit abziehen: 808,63—687,21 = 121,42 Tage. Innerhalb dieser Zeit ist der Planet, von der Sonne gesehen, von 268,57 bis 343,47°, also um 74,90° vorgeschritten. Beide Zahlen durcheinander dividiert ergeben, daß Mars damals im Tage durchschnittlich 0,616° zurückgelegt hat. Wir führen nun die gleiche Rechnung für die Intervalle zwischen den übrigen Oppositionen aus und erhalten dann folgende merkwürdige Zahlenreihe, der wir die mittleren Richtungen, für welche diese Bewegungen stattfinden, hinzufügen. Die letzteren wurden einfach gefunden, indem man die Mitte zwischen den beiden betreffenden Oppositionsorten nahm.

Richtung:	Tägliche Bewegung:	Richtung:	Tägliche Bewegung:
306°	0,6169°	149°	0,4400°
17	0,6019	184	0,4458
73	0,5167	224	0,5050
129	0,4604	279	0,5814

Wir machen hier die wichtige Entdeckung, daß die Geschwindigkeiten der heliozentrischen Marsbewegung ziemlich veränderlich, jedoch einer bestimmten Gesetzmäßigkeit unterworfen sind. Hätten wir noch weitere Oppositionen verfolgen können, so würden wir gefunden haben, daß für gleiche Richtungen stets dieselben Geschwindigkeiten wiederkehren. Es verhält sich also mit der Bewegung des Mars um die Sonne ebenso wie mit dem scheinbaren Umlauf der Sonne um die Erde. Auch bei dieser letzteren kommen keine Schleifenbildungen vor, während die Geschwindigkeit, wie schon Hipparch gefunden hatte, mit den Jahreszeiten regelmäßig wechselt. Unsere Zahlen für Mars ergeben, daß seine Geschwindigkeit etwa bei 150° heliozentrischer Länge am geringsten, in der entgegengesetzten Richtung dagegen am größten ist. Diese Richtung stimmt mit derjenigen überein, in die nach Ptolemäus die Exzentrizität des deferierenden Kreises, nach Kopernikus die der Kreisbahn des Mars um die Sonne zu legen ist. Wir haben eine erste Annäherung an das Aphel oder die Sonnenferne (ca. 150°), bezw. das Perihel oder die Sonnennähe (330°) des Mars direkt aus den Beobachtungen abgeleitet. Die wahre Lage dieser Punkte ist 153° und 333°.

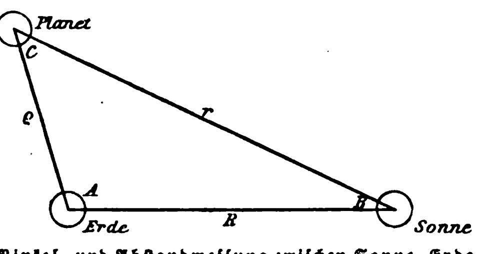
Da wir schon Näheres über die wahre Bewegung des Mars in bestimmten Bahnrichtungen wissen, können wir zu einer zweiten Näherung für die Bestimmung einer siderischen Umlaufszeit schreiten, indem wir mit Hilfe der Zahlen der letzten Tabelle eine Interpolation vornehmen, die uns die tägliche Geschwindigkeit des Mars in dem Teile seiner Bahn ergibt, der zwischen 246,40° und 268,57° (siehe oben) liegt. Wir finden dafür 0,5505°. Diese Zahl müssen wir in 22,17°, die am 27. Mai 1890 noch an acht vollen Umläufen des Mars seit dem 19. Juli 1875 fehlen, dividieren, um zu erfahren, daß 40,27 Tage verfließen, bis Mars in diesem Teile seiner Bahn die fehlende Strecke zurückgelegt hat. Diese Zahl addieren wir zu dem Zeitintervall zwischen den beiden hier in Betracht kommenden Oppositionen, d. h. 5455,43 Tagen, und erhalten 5495,70, eine Zahl, die, durch 8 geteilt, die siderische Umlaufszeit des Mars u = 686,96 Tage ergibt. Dieses Ergebnis unserer verhältnismäßig sehr einfachen Rechnung kommt der Wahrheit bis auf 0,02 Tage nahe. Hätten wir noch entfernter voneinander liegende Oppositionen angewendet, so würden wir u = 686,980 Tage erhalten haben.

Die gleichen Operationen, wie wir sie hier im einzelnen für Mars beschrieben haben, können wir auch für die übrigen Planeten ausführen, und wir erhalten überall im Prinzip dasselbe Resultat, daß sie nämlich, von der Sonne gesehen, keine Schleifen bilden, dagegen ungleiche Geschwindigkeiten zeigen, die in einer bestimmten, für jeden Planeten verschiedenen Richtung von der Sonne gesehen ein Maximum, in entgegengesetzter Richtung ein Minimum haben. Zugleich ergeben sich die siderischen Umlaufszeiten der Planeten um die Sonne:

Merkur	= 87,969 Tage	Jupiter	= 4,332,585 Tage
Venus	= 224,701 „	Saturn	= 10,759,220 „
Erde	= 365,256 „	Uranus	= 30,686,51 „
Mars.	= 686,980 „	Neptun	= 60,186,64 „

Wir haben damit die eine Hälfte unserer Aufgabe erfüllt: die Bewegung der Himmelskörper zu erkennen, wie sie von der Sonne gesehen würde. Wir können in der Tat die Richtungen, die am Himmel der Sonne die Planeten zu einer beliebigen Zeit einnehmen, nach dem vorher erörterten Verfahren wenigstens mit vorläufig befriedigender Annäherung angeben.

Um aber die Form der Bahn in Wirklichkeit zu erkennen, müssen wir noch die Entfernungen der Planeten von der Sonne bestimmen. Kepler machte zu diesem Zwecke folgende Erwägungen. Sei t irgendeine Oppositionszeit des Planeten und u seine siderische Umlaufszeit, so wird zur Zeit t + u die heliozentrische Länge l und die Entfernung des Planeten von der Sonne r dieselbe sein wie zur Zeit t. Für diese ist l unmittelbar durch die Beobachtung gegeben, ist also auch für t + u bekannt. Zu dieser letzteren Zeit befindet sich aber die Erde nicht mehr in der gleichen geraden Linie wie zur Oppositionszeit; es wird also durch die drei Körper Sonne, Erde und Planet ein großes Dreieck gebildet, dessen Winkel durch die Beobachtung gegeben sind. Man betrachte dafür die untenstehende Figur. Der Winkel A an der Erde ist durch die Beobachtung bekannt; wir visieren, um ihn zu finden, mit unserem Winkelmeßinstrumente zunächst nach der Sonne hin, lesen die Richtung auf dem geteilten Kreise ab und verschieben das Instrument, bis wir den Planeten im Gesichtsfelde haben. Die Differenz zwischen den beiden Ablesungen ist der gesuchte Winkel. Oder, wenn wir die Länge der Sonne, also ihre Winkelentfernung vom Frühlingspunkte mit S und die Winkelentfernung des Planeten zu derselben Zeit von demselben Punkte mit L bezeichnen, so haben wir A = L — S. Der zweite Winkel des Dreiecks, an der Sonne, B, läßt sich folgendermaßen leicht finden: die Erde befindet sich offenbar, von der Sonne aus gesehen, genau in der entgegengesetzten Richtung wie umgekehrt die Sonne von der Erde; diese Länge ist also E = S + 180 Grad; der Winkel des Dreiecks an der Sonne ist aber B = l — E, wo wieder l die heliozentrische Länge des Planeten bedeutet, die wir nach dem Vorangegangenen für jeden Moment angeben können. Der dritte Winkel C ist bekanntlich immer gleich 180° — A — B. Nach Kenntnis der Winkel eines Dreiecks kann man zwei seiner Seiten stets berechnen, wenn die dritte bekannt ist. Dies ist zwar in unserem großen Dreieck nicht der Fall, aber es kommt uns zunächst nur auf die Ermittelung des Verhältnisses der Seiten zueinander an, und dieses können wir immer finden, wenn wir eine der Seiten gleich 1 setzen. Wir tun dies zunächst für die Entfernung der Erde von der Sonne, nehmen also R = 1. Dann finden wir die Entfernung r des Planeten von der Sonne in Teilen unserer eigenen Entfernung vom Zentralgestirn.



Winkel- und Abstandmessung zwischen Sonne, Erde und Planeten.

Nun gehen wir weiter und führen die siderische Umlaufszeit des Planeten ein. Zur Zeit t + 2u haben wieder r und l dieselben Werte wie vorhin, nur die Lage der Erde zur Sonne ist inzwischen anders geworden. Wir bekommen ein neues Dreieck, in dem wir wiederum alle Winkel bestimmen können, und wo uns zugleich der wichtige Vorteil zustatten kommt, daß auch die eine Seite r, mit der vorhin gewählten Einheit gemessen, genau bekannt ist. Wir können deshalb diesmal R, die Entfernung der Erde von der Sonne, ebenso genau berechnen und bekommen sie jetzt in der früheren Einheit ausgedrückt. Dieses

Verfahren gibt uns also genauen Aufschluß über die Entfernungsveränderungen der Erde von der Sonne in einer bestimmten Zwischenzeit. Indem wir das nämliche Verfahren noch weiter fortsetzen und die betreffenden Dreiecke für die Zeiten $t+3u$, $t+4u$ u. s. w. berechnen, bekommen wir jedesmal ein anderes R, und alle diese Entfernungen sind mit ein und demselben Maßstabe gemessen. Wir können sie rings um einen Punkt, der die Sonne darstellen mag, aufzeichnen und erhalten dann, indem wir die Endpunkte dieser Linien durch eine Kurve verbinden, ein genaues Abbild der wahren Form der Erdbahn. Wir wollen auch hier wieder die Sache durch ein praktisches Beispiel erläutern.

Nach der oben (S. 575) gegebenen Tabelle fand eine Opposition des Mars 1877 September 5,50 statt. Die heliozentrische Länge des Planeten entnehmen wir aus der Tabelle $l = 343{,}47^0$. Durch Addition der siderischen Umlaufszeit $u = 686{,}98$ Tage zu dem soeben angeführten Momente finden wir $t + u = 1879$ Juli 24,48. Zu dieser Zeit wurde die Länge der Sonne $S = 121{,}60^0$, die geozentrische Länge des Mars $L = 30{,}71^0$ beobachtet, und die heliozentrische Länge des Planeten mußte, wie wir wissen, gleichzeitig dieselbe sein wie zur Oppositionszeit, also $l = 343{,}47^0$. Wir haben deshalb $A = L - S = 90{,}89^0$, $B = l - E = 41{,}87^0$ und demnach $C = 47{,}24^0$. Indem wir nun die Entfernung der Sonne von uns in diesem Momente $R = 1$ setzen, erhalten wir nach bekannten Regeln der ebenen Trigonometrie $r = \frac{\sin 90{,}89^0}{\sin 47{,}42^0} = 1{,}362$. Das heißt also, Mars befand sich um diese Zeit 1,362mal weiter von der Sonne entfernt als die Erde. Das ließ sich mit mathematischer Bestimmtheit nachweisen. Wir gehen weiter und bestimmen die Zeit $t + 2u = 1881$ Juni 10,46. Um diese Zeit wurde beobachtet $S = 80{,}06^0$ und $L = 22{,}03^0$. Auch diesmal ist $l = 343{,}47^0$. Es folgt daraus $A = 58{,}03^0$, $B = 83{,}41^0$ und $C = 38{,}56^0$. Diesmal wollen wir R für diesen Moment bestimmen, da wir $r = 1{,}362$ bereits aus dem vorher bestimmten Dreieck kennen. Wir haben dann: $R = r \frac{\sin C}{\sin A} = 1{,}362 \frac{\sin 38{,}56^0}{\sin 58{,}03^0} = 1{,}001$.

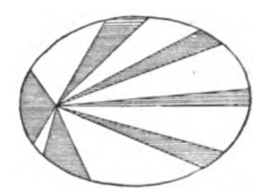
Es zeigt sich also, daß die Entfernung der Erde von der Sonne am 10. Juni 1881 fast genau dieselbe war wie am 24. Juli 1879. Wenn wir nun diese Rechnung für die beiden nächsten siderischen Umläufe $t + 3u$ und $t + 4u$ wiederholen, finden wir, daß dagegen diese Entfernung am 28. April 1883 nur 0,993 derjenigen vom 24. Juli 1879 betrug, und daß endlich dieses Verhältnis am 15. März 1885 auf 0,980 herabgesunken war.

Indem wir diese Rechnungsmethode auf eine zweite Opposition anwenden, erhalten wir abermals eine Reihe von Entfernungen der Erde von der Sonne, die allerdings in einer anderen Einheit r ausgedrückt sind. Diese zweite Opposition läßt sich indessen so auswählen, daß eine dieser Entfernungen (Radius-Vektor) fast zur gleichen Zeit stattfindet wie eine aus der ersten Serie; diese muß dann also jener so nahe gleich sein, daß der sehr kleine Unterschied als mit der Zeit gleichmäßig fortschreitend angenommen werden, also durch eine Interpolation gefunden werden kann. Das direkte Rechnungsresultat gibt indes verschiedene Zahlen für diese gleichen Radien, weil sie sich auf verschiedene Einheiten beziehen, d. h. mit verschiedenem Maße gemessen wurden. Da wir aber wissen, daß beide Radien wirklich gleich lang sind, so läßt sich unmittelbar das Verhältnis der beiden angewandten Maßeinheiten untereinander bestimmen, und alle für die zweite Serie in *ihrer* Maßeinheit angegebenen Größen sind demnach auf die der *ersten* zurückzuführen. So können wir mit weiteren Reihen verfahren, bis wir endlich eine genügend große Anzahl von über den ganzen Umkreis verteilten Radien der Erdbahn besitzen, die uns völlig zureichende Anhaltspunkte für unser fortgesetztes Studium der genauen Form dieser Bahn gewähren.

Folgende Tabelle ist das Ergebnis einer solchen sukzessiven Berechnung. In der ersten Reihe sind die heliozentrischen Richtungen angegeben, für welche die beigeschriebenen Radien gelten; in der zweiten befinden sich diese letzteren selbst; in der dritten stehen die direkt beobachteten mittleren täglichen Bewegungsgeschwindigkeiten, von der Erde aus gesehen.

E	R	v	E	R	v
10°	1,000	0,986°	190°	1,000	0,986°
40	0,991	1,003	220	1,008	0,970
70	0,986	1,015	250	1,014	0,957
100	0,983	1,020	280	1,017	0,953
130	0,985	1,015	310	1,015	0,957
160	0,991	1,002	340	1,008	0,969

Wir können aus diesen Zahlen die Richtung des Perihels der Erde ablesen. Das kleinste R liegt etwa in 100° heliozentrischer Erdlänge, und diese Länge tritt etwa am 1. Januar ein. Verbinden wir alle durch diese Methode zu findenden Punkte der Erdbahn durch eine Kurve, oder untersuchen wir auf mathematischem Wege die vorstehenden Zahlen genauer, so ergibt sich mit Sicherheit, daß die wechselnden Entfernungen dem exzentrischen Kreise unter keiner Bedingung genügen können, sondern daß sie einer Ellipse entsprechen, in deren einem Brennpunkte, nicht etwa in ihrem Mittelpunkte, sich die Sonne befindet.



Keplersche Ellipse. (Die dunkel schraffierten Flächen sind sämtlich einander gleich.) Vgl. Text, S. 582.

Mit dieser Erkenntnis über die wahre Form der Erdbahn können wir den Radius-Vektor R der Erde für jeden beliebigen Zeitpunkt in einer bestimmten Einheit ausgedrückt berechnen. Wir kennen also dadurch stets ohne weiteres die eine Seite eines durch Sonne, Erde und einen anderen Planeten gebildeten Dreiecks und sind deshalb auch imstande, für irgendeine Zeit, für die wir die heliozentrische Länge des betreffenden Planeten durch die oben angegebene Methode gefunden haben, seine jedesmalige, jetzt immer mit dem nämlichen Maßstabe gemessene Entfernung von der Sonne zu bestimmen. Wir erhalten folglich auch die Radien-Vektoren r des Planeten für beliebig viele seiner heliozentrischen Längen l und können nun auch seine Bahn genau bestimmen. Dabei kommen wir zu demselben Resultat wie bei der Erde, daß sich nämlich alle Planeten in Ellipsen um die Sonne bewegen, in deren einem Brennpunkte sich die Sonne befindet. Dieses grundlegende Resultat unserer geometrisch strengen Deduktion bezeichnet man mit dem Namen des ersten Keplerschen Gesetzes.

Das sogenannte zweite Keplersche Gesetz drückt die Beziehung aus, die wir bereits zwischen der Veränderung der Entfernung in der Bahnellipse und den Geschwindigkeiten des Planeten entdeckt haben. Es besagt, daß die von den Radien-Vektoren eines Planeten auf seiner Ellipse gleichsam bestrichenen Flächen immer der dazu verwendeten Zeit proportional sind. Daraus geht hervor, daß und wieviel der Planet in seinem Perihel schneller laufen muß als im Aphel; denn im ersteren sind seine Radien kleiner als im letzteren; die zwischen zweien derselben eingeschlossenen Flächen sind also bei gleichbleibendem Winkel an der Sonne kleiner für das Perihel als für das Aphel. Da aber nach dem ausgesprochenen Gesetz für eine gleiche Zeit, die dem Planeten zu seiner Bewegung auf der Peripherie seiner Ellipse gegeben wird, die beschriebene Fläche die gleiche bleibt, in welchem Teile seiner Bahn er

sich auch befinden mag, so muß der Winkel zwischen den beiden begrenzenden Radien notwendig im Perihel ein größerer sein als im Aphel, d. h. der Planet muß sich im ersteren schneller bewegen. Die Zeichnung auf Seite 581 erläutert dies. In ihr sind die überall gleichen Flächenteile schraffiert. Auch dieses Gesetz folgerte Kepler direkt aus den Ergebnissen seiner Feldmeßarbeit am Himmel. Er bestimmte das Areal dieser verschiedenen Ellipsenabschnitte, ganz wie ein Geometer die Felder absteckt.

Diese ungemein einfache Beziehung zwischen der Entfernung eines Himmelskörpers von dem Zentralpunkt seines Systems und der Geschwindigkeit seiner Bewegung mußte in dem prophetischen Geiste des großen Reformators der theoretischen Sternkunde die Überzeugung immer mehr befestigen, daß eine einheitliche, ewige Kraft von diesem Mittelpunkte mit gleicher Energie die Zügel aller Planetenbewegungen lenken müsse. Die Bestätigung dieser Anschauung, die dem Weltgedanken von der Einheit des Ganzen erst die wahre Universalität verleihen konnte, lieferte sein drittes und höchstes Gesetz, das besagt, daß die Kuben der mittleren Entfernungen oder der halben großen Achsen der Bahnellipsen sich verhalten wie die Quadrate der zugehörigen Umlaufszeiten. Damit, daß der Quotient aus diesen beiden Größen für alle Planeten die gleiche Größe haben muß, ist deutlich ausgedrückt, daß die Sonne alle Planeten mit gleicher Kraft regiert.

---

10. Das Newtonsche Weltgebäude.

Nachdem Kepler gefunden hatte, daß, einmal die Bewegung der Erde um die Sonne vorausgesetzt, es sich mit der absoluten Sicherheit des Feldmessers nachweisen ließ, daß die Sonne dann auch im Brennpunkte aller übrigen Planetenbewegungen steht, und folglich von ihr eine gemeinsame weltregierende Kraft ausgehen muß, und nachdem ferner Galilei die allgemeinen Prinzipien der Schwerkraft unter irdischen Bedingungen festgestellt hatte, lag es nahe, zu fragen, ob die von der Erde so allgemein und mit so unerschütterlicher Stetigkeit ausstrahlende Kraft vielleicht auch zur Erklärung der himmlischen Bewegungen herangezogen werden könne. Bekanntlich war es Newton (s. Abbildung, S. 583), der zuerst diese Frage aufwarf und rechnerisch mit glänzendem Erfolge verfocht. Wir wollen in möglichster Kürze die logische Schlußreihe darstellen, die zur Entdeckung der universellen Wirksamkeit der Schwerkraft führen mußte.

Von vornherein mag es seltsam und undenkbar erscheinen, daß dieselbe Schwerkraft, die auf der Erde alle Körper zum Boden herabzieht und sie hier träge und schwerfällig festhält, dort am Himmel die lebendigen, ewigen Bewegungen des Kreislaufes der Gestirne hervorbringen solle. Wenn die Planeten wirklich von der Sonne angezogen werden, so müssen sie doch, wie jeder Stein, den man bei uns frei läßt, auf die Erde fällt, notwendig in die Sonne stürzen; wenigstens scheint es so der naiven Anschauung. Das geschieht aber nicht; folglich kann es nicht die Schwerkraft sein, die diese Kreisbewegungen (denn als solche wollen wir der Einfachheit wegen im folgenden zunächst die sehr schwach elliptischen Bewegungen der Planeten auffassen) erzeugt. So einfach dieser Schluß erscheint, so leicht wird ein nur einigermaßen tieferes Eindringen in die interessante Frage zeigen können, daß der naive Menschenverstand diesmal trog.

Überall auf der Erde nehmen wir wahr, daß die Schwerkraft unter allen Umständen ihren Tribut verlangt: jeder frei fallende Körper durchläuft infolge der Schwerkraft in der ersten Sekunde eine Strecke von 4,89 m (abgesehen natürlich von den Störungen, die durch den Widerstand unserer atmosphärischen Luft hervorgerufen werden). Wenn wir demnach einen Körper fallen lassen, so befindet er sich nach Ablauf der ersten Sekunde 4,89 m tiefer als vordem. Schleudern wir einen Körper mit solcher Kraft in den Raum hinaus, daß er z. B. in gerader Linie aufsteigen und in dieser nach Ablauf der ersten Sekunde sich 50 m erhoben haben müßte, so werden wir in Wirklichkeit finden, daß der Körper sich nur 50—4,89 m erhoben hat. Schleudert man endlich den Körper genau in horizontaler Richtung, so hat er sich nach Ablauf der ersten Sekunde 4,89 m von dieser nach unten hin entfernt, wie groß oder wie gering auch seine horizontale Geschwindigkeit gewesen war. Dies sind Tatsachen der Beobachtung, an denen nicht gerüttelt werden kann; da sie von höchster Wichtigkeit für den Fortgang unserer Betrachtung sind, müssen wir sie mathematisch genauer präzisieren.



Isaac Newton, geb. in Woolsthorpe (England) 1643, gest. in Kensington 1727. Nach einem gleichzeitigen Ölgemälde. Vgl. Text, S. 582.

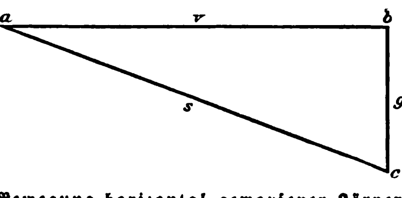
In der Figur auf Seite 584 bedeute v die horizontale Geschwindigkeit, mit der ein Körper geschleudert worden ist; d. h. ein in a befindlicher Körper würde sich, wenn die Schwerkraft nicht auf ihn gewirkt hätte, nach Ablauf einer Sekunde in b befunden haben. Die Schwerkraft hat ihn aber inzwischen nach c herabgezogen. Der Weg $\overline{bc}$ bezeichnet also die Fallstrecke in der ersten Sekunde; wir nennen sie g, obgleich schulmäßig der doppelte Wert mit diesem Buchstaben bezeichnet zu werden pflegt. Der Körper hat also in Wirklichkeit den Weg $\overline{ac} = s$ beschrieben. Nach dem pythagoreischen Lehrsatze findet man diesen Weg aus den beiden früher genannten Größen durch die Formel $s^2 = v^2 + g^2$.

Machen wir hiervon sogleich eine Anwendung. Nehmen wir an, eine Kanone sei in einer Höhe von 20 m über dem Erdboden so aufgestellt, daß die Kugel genau in horizontaler Richtung aus dem Rohre fliegen muß, und letztere habe eine Geschwindigkeit von 500 m in der Sekunde. Dann ist der mit sich selbst multiplizierte Weg, den die Kugel in Wirklichkeit nach der ersten Sekunde durchlaufen hat, $s^2 = 500 \times 500 + 4{,}89 \times 4{,}89 = 250{,}023{,}91$. Der Weg s

selbst ergibt sich also gleich 500,02 m. Er wird, wie wir sehen, gegen v nur um ein sehr Geringes verlängert.

Aber eine andere, seltsame Erscheinung würde sich hier zeigen, wenn wir das Experiment mit aller gewünschten Präzision ausführen könnten. Die Kugel hat sich um die mehrfach erwähnten 4,89 m von der Horizontalen entfernt. Da sie sich bei Beginn ihres Fluges 20 m über dem Erdboden befand, so sollte man nach dem Vorhergegangenen meinen, sie müßte nach Ablauf der ersten Sekunde um 20 — 4,89 = 15,11 m über demselben schweben; statt dessen würde man finden, daß sie 2 cm höher steht. Hätte die Geschwindigkeit in der ersten Sekunde 1000 m betragen, so würde sich diese scheinbare Erhöhung auf 8 cm gesteigert haben. Sie wächst dann sehr schnell, so daß sie bei 10,000 m Geschwindigkeit auf nicht weniger als 7,85 m steigen würde, d. h. die Kugel befände sich unter solchen Umständen 20 — 4,89 + 7,85 = 22,96 m über dem Erdboden; sie hätte sich also dann trotz der herabziehenden Schwerkraft, und obgleich sie genau horizontal abgeschossen war, 2,96 m über den Erdboden erhoben.

Dieser scheinbare Widerspruch ist sehr leicht erklärt. Er ist in der uns bekannten Kugelgestalt der Erde begründet. Wenn wir in der Figur auf Seite 585 den Kreisbogen a d als Teil der Erdoberfläche ansehen und uns in a befinden, so wird doch ein Gegenstand, den wir horizontal bis b schleudern, dort ankommend um eine bestimmte Größe x sich von der Oberfläche entfernt haben müssen, weil diese gekrümmt ist. Der Körper befindet sich also, abgesehen von der Wirkung der Schwerkraft, obgleich horizontal fliegend, bei b entfernter vom Mittelpunkte der Erde (c) als in a.



Bewegung horizontal geworfener Körper. Vgl. Text, S. 583.

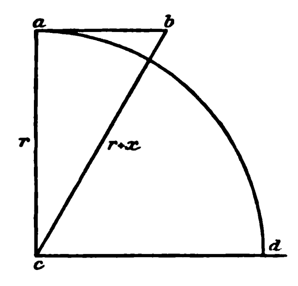
Hier war sein Abstand gleich dem Erdhalbmesser r, in b ist er gleich r + x. Ist aber die Strecke $\overline{ab}$ gleich v bekannt, so können wir x, die oben angegebene Erhebung über die Erdoberfläche, aus der wieder unmittelbar durch den pythagoreischen Satz bedingten Formel berechnen: $r^2 + v^2 = (r + x)^2$. Nach bekannten arithmetischen Regeln können wir im vorliegenden Falle das Quadrat der relativ sehr kleinen Größe x vernachlässigen und erhalten dann aus der obigen Gleichung $v^2 = 2rx$, oder $x = \frac{v^2}{2r}$.

Mit Hilfe dieser Formel vermögen wir nun sehr leicht die Aufgabe zu lösen, diejenige Anfangsgeschwindigkeit zu finden, die vorhanden sein muß, damit die Kugel nach Ablauf der ersten Sekunde wieder genau ebenso hoch über dem Erdboden schwebt wie im Augenblicke des Beginnes der Bewegung. Dann muß x offenbar gleich der Fallstrecke in der ersten Sekunde, also 4,89 m (oben g genannt) sein. Wir haben demnach $v^2 = 2rg = 2 \times 6{,}377{,}400 \times 4{,}89 = 62{,}370{,}000$ m, oder indem man die Quadratwurzel aus dieser letzten Zahl zieht, v = 7897 m. So geschwind müßte also die Kugel fliegen, damit sie der Schwerkraft gewissermaßen das Gleichgewicht halten könnte. Da sie aber nach Ablauf der ersten Sekunde von ihrer Geschwindigkeit nichts verloren hat, so beginnt offenbar dasselbe Spiel: nach der zweiten Sekunde ist die Kugel abermals 7897 m vorwärts geeilt und dabei 4,89 m gefallen, während die Erdoberfläche sich um die nämliche Größe von der geraden Linie abgekrümmt hat. Folglich befindet sich die Kugel auch nach 2 Sekunden wieder ebensoweit von der Erdoberfläche entfernt wie zu Anfang ihres Laufes, und so fort. Die Kugel fällt unter solchen Bedingungen niemals auf die Erde herab, sondern läuft fortwährend rings um dieselbe herum; sie ist ein Satellit unseres Planeten geworden, ein wirklicher Mond.

Könnten wir also eine so große Geschwindigkeit erzeugen (unsere Kanonenkugeln fliegen im besten Fall immer noch zehnmal langsamer), so würden wir unserer Erde nach Belieben neue sekundäre Weltkörper schaffen können, die sie in den festen Banden der Schwerkraft beständig um sich herumkreisen lassen müßte.

Damit ist der strenge Beweis geliefert, daß und wie die Bewegung von Weltkörpern umeinander in der Tat durch die Schwerkraft erklärt werden könnte. Es fragt sich nur noch, ob in einem bestimmten, uns zahlenmäßig bekannten Falle diese Erklärung wirklich zutrifft. Zur Durchführung dieses Beweises eignet sich am besten unser Mond. Nach allen Weltansichten bewegt er sich um die Erde, deren Schwerewirkung wir wenigstens auf ihrer Oberfläche genau kennen. Die Frage ist also: erklärt diese Schwerewirkung auch den beständigen Umschwung des Mondes um unseren Planeten nach der soeben entwickelten Theorie?

Um diesen Beweis antreten zu können, haben wir zuvor die andere wichtige Frage zu entscheiden, ob die Schwerkraft in allen Entfernungen von der Erde mit gleicher Stärke wirkt, oder welches das Gesetz ihrer eventuellen Abnahme ist. Es läßt sich zeigen, daß alle vom Zentrum einer Kraftquelle gleichmäßig nach allen Richtungen ausstrahlende Wirkungen, mögen sie nun Schall, Wärme, Licht, Magnetismus, Elektrizität oder Gravitation heißen, im Quadrat der Entfernung vom Zentrum abnehmen müssen, wenn keinerlei Gegenwirkungen eintreten, worauf wir später noch eingehend zurückkommen. Ist also g die Fallgeschwindigkeit für eine Entfernung r, g_1 für die Entfernung r_1, so drückt sich dieses Abnahmegesetz durch die Formel aus: $\frac{g}{g_1} = \frac{r_1^2}{r^2}$, woraus wir folgern: $g_1 = g \frac{r^2}{r_1^2}$.



Erhebung horizontal geworfener Körper über die Erdoberfläche. Vgl. Text, S. 584.

Kennen wir also, wie es in der Tat der Fall ist, das Maß der Schwerkraft g in der Entfernung r vom Mittelpunkte der Erde, von dem ja nach allen Seiten diese Kraft gleichmäßig ausstrahlt, so können wir ihre Wirkung in einer anderen Entfernung r_1, also beispielsweise der des Mondes, nach dieser Formel sofort ausrechnen. Setzen wir r_1 in runden Zahlen gleich 384,400,000 m, so erhalten wir die Schwerkraft in der Entfernung des Mondes

$$g_1 = \frac{4{,}89 \times 6\,377\,000 \times 6\,377\,000}{384\,400\,000 \times 384\,400\,000} = 0{,}00135 \text{ m.}$$

Ein Körper durchfällt also infolge der Anziehungskraft der Erde, wenn diese wirklich mit dem Quadrat der Entfernung abnimmt, in der Entfernung des Mondes nur noch etwa $1\frac{1}{3}$ mm in der ersten Sekunde, gegen 4,98 m an der Erdoberfläche.

Es fragt sich nun, ob der Mond in Wirklichkeit in jeder Sekunde um die soeben gefundene Größe gegen die Erde hin fällt, oder mit anderen Worten, ob seine Bahn in der Weise gekrümmt ist, daß er in seinem durchschnittlich beschriebenen Kreise in jeder Sekunde 0,00135 m von der geraden Linie, die als Tangente an diesen Kreis gezogen ist, abweicht.

Wir haben vorhin (S. 584) die Formel gegeben, durch die man diese Größe x berechnen kann. In unserem Falle ist r gleich der bekannten Entfernung des Mondes von der Erde; die Größe v ist offenbar gleich der Strecke, die der Mond in seiner Bahn im Laufe einer Sekunde zurücklegt, oder doch so nahe gleich dieser Größe, daß wir, wie unser erstes Beispiel an der fliegenden Kanonenkugel (S. 583) zeigte, v mit s auch hier unmittelbar vertauschen können. Diesen Weg aber finden wir, indem wir den Umfang der Mondbahn durch die Anzahl von Sekunden, die unser Trabant braucht, um eben diese Bahn zu durchlaufen,

dividieren. Der Umfang eines jeden Kreises ist bekanntlich gleich seinem Durchmesser 2r, multipliziert mit der bekannten Zahl π gleich 3,1416. Wir fanden schon früher die siderische Umlaufszeit des Mondes, denn um diese handelt es sich hier, rund zu 2,361,000 Sekunden. Nennen wir diese Zahl u, so haben wir $v = \frac{2r\pi}{u}$ und $x = \frac{2r\pi^2}{u^2} = \frac{2 \times 384\,400\,000 \times 3{,}1416 \times 3{,}1416}{2\,361\,000 \times 2\,361\,000}$.

Die Ausrechnung ergibt 0,00136 m, den Betrag, um den, nach feldmesserisch strenger Methode bestimmt, der Mond in jeder Sekunde gegen die Erde hin von der geraden Fluglinie abweicht, d. h. gegen die Erde hin fällt. Mit großer Genugtuung sehen wir, daß diese Zahl mit der vorhin aus dem Gesetz der quadratischen Abnahme der Schwerkraft ermittelten bis auf ein Hundertteil eines Millimeters übereinstimmt, eine Differenz, die bei Berücksichtigung verschiedener Nebenumstände ganz verschwinden würde. Durch diese Übereinstimmung ist der Beweis geliefert, daß der Mond wirklich nur infolge der Schwerkraft seine Bahn um die Erde beschreibt, ebenso wie die Kanonenkugel, die wir durch eine einmal auf sie wirkende Schleuderkraft von bestimmter Größe wenigstens im Geiste gezwungen haben, über der Oberfläche der Erde beständig um diese als Satellit zu kreisen.

Die Schwerkraft der Erde regiert den Mond. Die nämliche Kraft strahlt auch noch weit über den Umfang der Mondbahn in den Raum hinaus. Sollte deshalb nicht auch die Bewegung der Sonne dadurch erklärt werden, und sollten nicht die Gelehrten des Altertums recht behalten können, welche die Erde in den Mittelpunkt des Weltalls gestellt hatten? Der Augenschein zeigt, daß nur eines von beiden stattfinden kann: entweder bewegt sich die Sonne um die Erde, so wie es uns scheint (und dann stellen sich, wie wir erfahren haben, die Bewegungen aller Planeten recht kompliziert und schwer verständlich heraus), oder die Erde bewegt sich um die Sonne, worauf sich sofort die himmlischen Bewegungen ganz wesentlich vereinfachen. Bis jetzt war die endgültige Entscheidung zwischen diesen beiden Möglichkeiten nicht zu treffen; wir mußten uns mit einer sehr großen Wahrscheinlichkeit für die Erde zufrieden geben. Die Rechnung, die Zahlen allein können das große Urteil fällen, ob die Erde aus dem Mittelpunkte der Welt verdrängt werden soll oder nicht.

Die erste hierauf bezügliche Frage ist: wie groß bemißt sich die Anziehungskraft der Erde in der Entfernung der Sonne, die durch die Parallaxenmessungen gleich rund 149,500 Millionen Meter gefunden wurde. Diese Zahl, in die bereits für den Mond angewandte Formel eingesetzt, ergibt, daß ein Körper in dieser Entfernung von der Erde in einer Sekunde nur um 1 : 112,400,000 m durch ihre Schwerkraft ihr genähert wird. Um diese sehr geringfügige Größe fällt also wirklich die Sonne in einer Sekunde gegen die Erde hin. Dies ist nicht anzuzweifeln, wenn wir die universale Gültigkeit des Gravitationsgesetzes anerkennen.

Nun fragt es sich, ob die Sonne, wenn sie sich in der obengenannten Entfernung wirklich um die Erde bewegt, ebensoviel auf ihrer Bahn von der Tangente an dieselbe nach der Erde hin abweicht, ob also das nach der früher angewendeten Formel gefundene x mit dem oben für die Sonne ermittelten g übereinstimmt. In unserem Falle haben wir u, die Umlaufszeit der Sonne, gleich nahe 31,560,000 Sekunden gefunden. Die Rechnung ergibt mit diesen Zahlen $x = 1 : 337{,}5$ m, ein Resultat, das von dem vorhin gefundenen Werte für $g_1 = 1 : 112{,}400{,}000$ m ganz verschieden ist. Unsere in bezug auf den Mond so vortrefflich mit der Beobachtung stimmende Theorie versagt hier vollständig. Die Erde regiert nicht die Sonne, sondern die Sonne strahlt eine gewaltige Anziehungskraft aus und macht die Erde und alle Planeten ewig sich untertan.

Wenn wir sagen alle Planeten, so scheint das voreilig gesprochen zu sein, und es fragt sich, ob wir in der eben vorgetragenen Theorie nicht noch direktere Beweise hierfür finden können, als die früher entwickelten Betrachtungen von der Vereinfachung der Bewegungen enthalten, sobald wir die Bewegung der Erde um die Sonne einmal mit Gewißheit erkannt haben. Wir sind in der Tat diesen Beweis noch schuldig und müssen ihn durch den anderen vervollständigen, daß die ungleich gewaltigere Anziehungskraft der Sonne denselben Gesetzen untertan ist wie die der Erde. Sie muß an sich konstant sein und deshalb das Gesetz der quadratischen Abnahme mit der Entfernung zeigen. Um dies zu ermitteln, können wir jeden Planeten in derselben Weise behandeln wie vorhin den Mond, und müssen dabei für eine bestimmte Entfernung stets auf die gleiche Größe der Anziehungskraft stoßen.

Wenn wir untersuchen, ob dies zutrifft, müssen wir zunächst bestimmen, wie groß die Anziehungskraft der Sonne überhaupt ist. Die mangelnde Übereinstimmung der letztgefundenen Zahlen x und g_1 zeigte, daß diese Kraft der Sonne sehr viel größer ist als die der Erde. Das Verhältnis beider zueinander ist aber sofort gefunden, wenn wir die beiden Zahlen durch einander dividieren, denn das früher gefundene g_1 ist die wirkliche Anziehungskraft der Erde in der Entfernung der Sonne; das x dagegen bedeutet nach unserer neuen Erkenntnis die Größe, um welche die Erde durch die Sonne in jeder Sekunde wirklich von ihrer gerade fortschreitenden Richtung zu einer kreisförmigen Bahn abgelenkt wird, d. h. x ist die wirkliche Fallstrecke der Erde oder die Schwerkraft der Sonne in derselben Entfernung in Metern und für eine Sekunde ausgedrückt, wie es für g_1 der Fall ist. Das Verhältnis der Schwerkraft der Sonne zu der der Erde ist also gleich $\frac{x}{g_1} = \frac{112\,400\,000}{337,6} = 333{,}000$. **Die Sonne strahlt demnach eine um ein Drittel millionmal größere Kraft in das Weltall hinaus als die Erde**: das ist die ungeheure Zentralgewalt, durch welche die Ordnung in unserem schönen Systeme wohltätig, aber zugleich mit unerschütterlicher Stetigkeit erhalten wird, und mit der die Alleinherrscherin sich ihre unbedingte Gewalt über ihre Untertanen sichert.

Von dieser ungeheuern Kraft können wir uns keine Vorstellung machen. Würde die Erde eine gleiche Kraft besitzen, so müßten die Körper auf ihrer Oberfläche nicht 4,89 m in der ersten Sekunde, sondern 4,89mal 333,000 m oder etwas mehr als 1600 km herabstürzen, und ein winziger Gegenstand, etwa ein Papierschnitzelchen von 10 mm quadratischer Seitenlänge, das bei uns ungefähr 1 cg wiegt, würde, durch die Anziehungskraft der Sonne herabgezogen, in unserer Hand zu einem schweren Gewichte von 333,000mal 0,00001, also 3⅓ kg werden. Welch ungeheurer Druck muß die Massen in der Sonne zusammenpressen! Welche unvorstellbar großen inneren Kräfte arbeiten in diesem Zentralherd unseres engeren Weltgebäudes und versorgen uns durch den Übergang dieses ganz unermeßlichen Druckes in Wärme und Licht mit wundervoller Lebenskraft!

Allerdings auf der Oberfläche der Sonne ist dieser Druck bei weitem nicht so bedeutend, wie wir ihn soeben gefunden hatten. Der Durchmesser der Sonne ist sehr viel größer als der der Erde, und wir hatten vorhin unsere Rechnung für die Entfernung des Erdhalbmessers vom Mittelpunkt ausgeführt, um überall für den Vergleich dieselben Einheiten zu erhalten. Wir haben früher gefunden, daß der Durchmesser der Sonne den der Erde um das 109,5fache übertrifft. Die Anziehungskraft nimmt aber mit dem Quadrat der Entfernungen ab; folglich müssen wir, um die Schwerkraft auf der Sonnenoberfläche zu finden, die oben ermittelte Verhältniszahl 333,000 durch $109{,}5 \times 109{,}5$ dividieren, um die gewünschte Zahl gleich 28,0 zu

erhalten. Ein Gegenstand, der bei uns 1 kg wiegt, muß also auf der Oberfläche der Sonne 28,0 kg schwer sein. Ließen wir diesen Körper frei fallen, so würde er in der ersten Sekunde $28{,}0 \times 4{,}89 = 137$ m herabfallen. Das sind Tatsachen, die wir, von Schluß zu Schluß weiter vordringend und nur wirklich Beobachtetes als Voranmahmen einführend, entdeckt haben.

Aber noch andere interessante Schlußfolgerungen können wir aus den ermittelten Tatsachen ableiten. Physikalische Untersuchungen haben das Resultat bestätigt, daß jeder Körper in demselben Verhältnis mehr Anziehungskraft ausübt, als er selbst schwer ist, oder genauer ausgedrückt, daß seine Anziehungskraft seiner Masse proportional ist. Es folgt daraus erstens, daß die Sonne 333,000mal schwerer ist als die Erde; wir haben die Sonne gleichsam auf die Wagschale gelegt. Aus der Masse, die sich in der Sonne vereinigt, könnte man folglich 333,000 Kugeln von der Größe der Erde und der gleichen mittleren Dichtigkeit der irdischen Gesteinschichten formen. Nun verhält sich aber bekanntlich der Rauminhalt zweier Kugeln wie die dreimal mit sich selbst multiplizierten Durchmesser derselben. Da also die Sonne im Durchmesser 109,5mal größer ist als die Erde, so finden wir, daß ihr Volumen 1,297,000mal größer ist als das der Erde. Da sich auf diesen Raum die nur 333,000mal größere Masse verteilen muß, so folgt, daß die Materie der Sonne in ihrem Körper weniger dicht nebeneinander lagert als bei uns. Die Dichtigkeit der Sonne, im Vergleich zu jener der Erde, ergibt sich gleich $\frac{333\,000}{1\,297\,000} = 0{,}257$ oder gleich dem vierten Teil der Erddichte. Trotz des gewaltigen Druckes, der die Massen der Sonne zusammenhält, ist ihre Materie also doch viermal lockerer verteilt als bei uns.

Wir sind nun noch den Beweis dafür schuldig, daß die Schwerkraft der Sonne auch allen anderen Planeten gegenüber den nämlichen Gesetzen folgt wie bei der Erde, d. h. daß sie gleichfalls mit dem Quadrat der Entfernung abnimmt. Erst wenn dies durch die Beobachtung endgültig bewiesen ist, sind auch die übrigen Schlüsse unantastbar richtig. Der Beweis ist mit unserem inzwischen angesammelten wertvollen Material sehr leicht geliefert. Wenn nämlich dieses Gesetz der quadratischen Abnahme stattfindet, so muß für jeden Planeten das für ihn geltende g mit dem zugehörigen x übereinstimmen. Also in algebraischer Schreibweise muß sein: $x = g = \frac{2r\pi^2}{u^2}$, und zugleich $x_1 = g_1 = \frac{2r_1\pi^2}{u_1^2}$. Letztere Formel gilt für einen zweiten Planeten. Die Verbindung der beiden Formeln ergibt: $\frac{g}{g_1} = \frac{r u_1^2}{r_1 u^2}$. Nach dem Gesetze der quadratischen Abnahme der Schwerkraft muß nun zugleich das Verhältnis stattfinden $\frac{g}{g_1} = \frac{r_1^2}{r^2}$. Tragen wir diesen letzten Ausdruck auf der linken Seite der vorangehenden Formel ein, so erhalten wir endlich $\frac{r_1^2}{r^2} = \frac{r}{r_1} \cdot \frac{u_1^2}{u^2}$ oder $\frac{r_1^3}{u_1^2} = \frac{r^3}{u^2}$ oder endlich $\frac{r^3}{r_1^4} = \frac{u^2}{u_1^2}$. Das ist der berühmte Ausdruck, der das dritte Keplersche Gesetz von dem Verhältnis der Kuben der Entfernungen zu den Quadraten der Umlaufszeiten mathematisch präzisiert. Wir haben es hier aus dem einfachen Newtonschen Gesetz der quadratischen Abnahme der Anziehungskraft als eine Notwendigkeit abgeleitet.

Daß es sich wirklich so verhält, können wir aus dem vorliegenden Beobachtungsmaterial sofort nachweisen. Nach den im Vorangegangenen beschriebenen, rein geometrischen Methoden, die bereits Kepler anwandte, ergeben sich für die Planeten folgende Zahlen für r und u:

	r	u			r	u	
Merkur . . . =	0,3871	87,97	Tage	Jupiter . . =	5,2028	4,332,58	Tage
Venus . . . =	0,7233	224,70	„	Saturn . . =	9,5389	10,759,22	„
Erde . . . . =	1,0000	365,26	„	Uranus . . =	19,1833	30,686,51	„
Mars . . . . =	1,5237	686,98	„	Neptun . . =	30,0551	60,186,64	„

Welche Reihe wir auch hier herausgreifen mögen, wir werden immer, wenn wir die erste zur dritten Potenz, die zweite zum Quadrat erheben und die erhaltenen Produkte

durch einander dividieren, ein und dieselbe sehr kleine Zahl erhalten, die den Zähler 1 und den Nenner 133,400 hat. Letztere Zahl gibt, wenn man die Quadratwurzel aus ihr zieht, 365,26, d. h. die Umlaufszeit der Erde um die Sonne, aus dem leicht ersichtlichen Grunde, weil wir r für die Erde gleich 1 angenommen haben.

Mit der Ableitung dieses alle Planeten verbindenden wunderbaren Gesetzes ist das in so überwältigend großem Stil einheitlich errichtete Weltgebäude gekrönt. Seine Dimensionen und seine räumliche Anordnung, einschließlich der Bahnen der periodischen Kometen, sind in der beigehefteten Tafel anschaulich dargestellt.

Alle weiteren Arbeiten der messenden Astronomie haben in der Folge nur noch die Aufgabe, das Newtonsche Weltgebäude in seinen einzelnen Teilen weiter auszubauen und zu vervollkommnen. Es handelt sich darum, aus diesem einzigen, einfachsten Gesetze von der quadratischen Abnahme der Anziehungskraft der Weltkörper und ihrer Proportionalität mit deren Masse alle Bewegungen der Himmelskörper, soweit wir sie bis in die feinsten Einzelheiten hinein kennen lernen, zu erklären, d. h. die Notwendigkeit ihrer Bewegungen aus diesem Gesetz heraus zu beweisen. Bei der Kompliziertheit der am Himmel beobachteten Bewegungen, von denen wir oben nur einen ganz allgemeinen Überblick geben konnten, ist diese Aufgabe nicht leicht. Sie wird durch die große Vielheit der Himmelskörper, einerseits wegen der großen Ausdehnung der mit dieser Untersuchung verbundenen Arbeitsleistung, anderseits aber auch wegen der zurzeit noch vorliegenden Unvollkommenheit der mathematischen Analyse, zur schwierigsten Aufgabe, die dem menschlichen Denkvermögen gestellt werden kann. Wir sind deshalb, besonders hier, wo wir nur die einfachsten mathematischen Hilfsmittel verwenden dürfen, nicht imstande, den Weg der strengen Beweisführung lückenlos fortzusetzen, sondern müssen uns damit begnügen, nur einige der einfachsten darauf bezüglichen Gedankenreihen zu verfolgen.

Da treten uns zunächst jene Planeten entgegen, die selbst Systeme von Zentralbewegungen bilden, d. h. von Monden umkreist werden. Wenn das Newtonsche Prinzip wirklich allgemeine Gültigkeit hat, so muß es sich auch in den Bewegungsverhältnissen aller Satelliten widerspiegeln; insbesondere muß das dritte Keplersche Gesetz da, wo mehrere Monde vorhanden sind, sich ohne weiteres aus der Beobachtung ergeben. Die Umlaufszeiten der Monde und ihre relativen Abstände vom Planeten lassen sich beobachten, ohne irgendwelche Annahme über die wahren Entfernungen oder Bewegungen unseres Standpunktes oder des Satellitensystems. Man kann nämlich jene relativen Entfernungen immer in Teilen des jeweiligen scheinbaren Planetendurchmessers bestimmen, der durch veränderte Entfernung des ganzen Systems im gleichen Verhältnis wie die Entfernungen der Monde von ihrem System, d. h. vom Mittelpunkt ihres Planeten, verändert wird. Obgleich die Satellitenbahnen durch die Lage ihrer Ebenen uns verjüngt erscheinen müssen, wird doch, wie unmittelbar ersichtlich ist, der größte scheinbare Abstand des Satelliten von seinem Planeten immer dem Halbmesser seiner Bahn entsprechen, solange wir diese in erster Annäherung kreisförmig annehmen, was bei ihrer durchgehends sehr geringen Elliptizität ohne weiteres erlaubt ist.

Ist also das dritte Keplersche Gesetz auch auf die Monde aller übrigen Planeten anwendbar, so muß wiederum das Verhältnis des Quadrates der Umlaufszeit zum Kubus des Abstandes vom Mittelpunkt ihres besonderen Systems für letzteres konstant sein, während diese Konstante selbstverständlich für jeden Planeten verschieden sein wird. Wir führen die Rechnung zunächst für die fünf ersten Satelliten des Jupiter aus. Die Beobachtung ergibt für



diese die folgenden Umlaufszeiten in Tagen und mittleren Abstände in Teilen des äquatorialen Jupiterhalbmessers:

	u	r	r_1
V.	0,4982	2,55	0,00121
I.	1,7691	5,93	0,00282
II.	3,5512	9,44	0,00449
III.	7,1545	15,06	0,00715
IV.	16,6890	26,49	0,01258

Dieselbe Rechnung, wie wir sie auf Seite 586 u. f. für die Planeten ausgeführt haben, gibt für diese fünf Satelliten in der Tat ein und dieselbe Zahl, und zwar 66,7. Es ist damit bewiesen, daß auch vom Jupiter eine Zentralkraft ausstrahlt, die im Quadrat der Entfernungen abnimmt. Die wahre Größe dieser Zentralkraft können wir sofort ausmessen, wenn wir die relativen Entfernungen der Satelliten von dem Zentrum der Kraft in absolute umwandeln oder doch ihr Verhältnis zur allgemeinen Einheit im Sonnensystem, der Sonnenentfernung, angeben können. Wir haben deshalb in der obigen Tabelle noch eine Reihe, mit r_1 überschrieben, hinzugefügt, welche die Entfernungen der Satelliten in Einheiten der Sonnenentfernung gibt. Wir sehen leicht, daß die r_1 mit recht großer Sicherheit eben durch das dritte Keplersche Gesetz ermittelt werden können, da wenigstens die mittlere Entfernung des Jupiter von der Sonne in Einheiten der Sonnenentfernung durch einfache Rechnung direkt gefunden wird, wenn man nur seine Umlaufszeit kennt. Wir haben dazu diese letztere einmal mit sich selbst zu multiplizieren und aus dem Resultat die dritte Wurzel zu ziehen, wobei nur zu berücksichtigen ist, daß wir als Einheit für die Umlaufszeit das Jahr annehmen müssen, um für die Entfernung die gewünschte Einheit zu erhalten.

Führen wir die Rechnung zunächst noch einmal mit den r_1 durch, so ergibt sich bei allen fünf Satelliten für $u^2 : r_1^3$ die Zahl 1 : 139,800,000. Da wir in diesem Falle dieselben Einheiten angewendet haben wie bei der Durchrechnung für die Planeten, so drückt diese Zahl unmittelbar aus, um wieviel die vom Jupiter ausstrahlende Zentralkraft geringer ist als die der Sonne. Die Division der beiden Resultate nämlich $\frac{133\,400}{139\,800\,000}$ (s. S. 589) zeigt, daß die Anziehung Jupiters 1048 mal schwächer ist als die der Sonne und folglich 318 mal größer als die der Erde, da wir (S. 588) die Sonnenmasse 333,000 mal größer fanden als die Masse der Erde. Da die Anziehungskraft direkt proportional der Masse ist, so drücken diese Zahlen ohne weiteres das beiderseitige Massenverhältnis aus. Nun ist aber das Volumen der Jupiterkugel rund 1260 mal größer als das der Erde; die nur 318 mal größere Masse muß sich auf dieses Volumen verteilen. Sie ist also durchschnittlich viermal lockerer als die Erdmasse. Die Dichtigkeit des Jupiter kommt somit der der Sonne nahezu gleich. Wäre der Durchmesser Jupiters nicht größer als der der Erde, so müßte jeder Gegenstand auf seiner Oberfläche ebensoviel schwerer sein, als seine Masse größer ist, d. h. ein irdisches Kilogramm würde dort 318 kg wiegen. Da nun aber Jupiter im Durchmesser etwa 11 mal größer ist als die Erde und die Anziehungskraft im Quadrat abnimmt, so müssen wir noch die Zahl 318 durch 11×11 dividieren, um zu erfahren, daß auf der Oberfläche jenes Planeten alle Gegenstände etwa $2\frac{1}{2}$-mal schwerer sind als auf der Erde. Ebensoviel schneller muß also auch jeder freigelassene Gegenstand dort in der ersten Sekunde gegen das Jupiterzentrum hin fallen, d. h. $4{,}9 \times 2\frac{1}{2} = 12{,}5$ Meter. Eine verhältnismäßig sehr einfache Ableitung hat uns hier dank der Universalität des Newtonschen Gesetzes die Möglichkeit an die Hand gegeben, den Ausgang eines physikalischen Experimentes bis auf Bruchteile eines Meters genau anzugeben, das andere

Wesen eventuell auf einem anderen Weltkörper ausführen würden. Alle die Korrektionen, die durch die Abplattung des Planeten und seine Rotation nötig sind (s. S. 470), können gleichfalls angebracht werden.

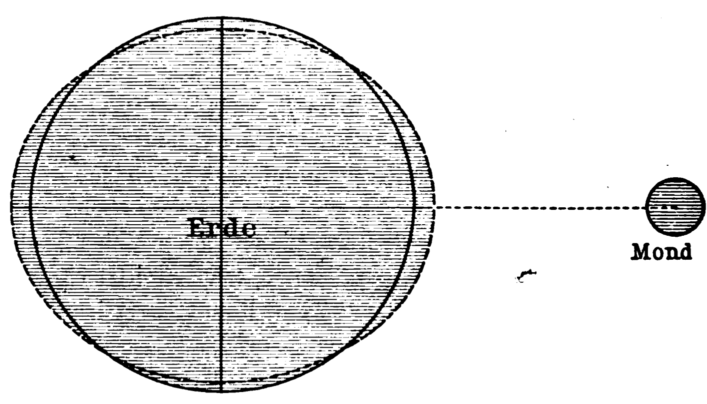
Für die übrigen Planeten, die Monde besitzen, läßt sich die gleiche Rechnung durchführen; und es ergeben sich die in der Tabelle der Planetenbahnen, Seite 619 u. f., zusammengestellten Zahlen.

Wir dürfen aber bei unserem Forschen nach neuen Bestätigungen des Newtonschen Gesetzes nicht vergessen, daß wir an einzelnen Stellen unserer Untersuchung zur Vereinfachung unserer Arbeit gewisse Vernachlässigungen begingen, deren Zulässigkeit für den betreffenden Fall wohl nachweisbar war, während sie doch auch gelegentlich sehr merklich werden können. Wir haben z. B. bis jetzt die Wirkung der Schwerkraft immer so betrachtet, als ob die Masse des bewegten sowohl wie des bewegenden Körpers in seinem Zentrum vereinigt sei. In aller Strenge aber müßten wir die Kräfte jedes einzelnen Moleküls der Zentralmasse auf jedes einzelne des bewegten Körpers nach Maßgabe des Newtonschen Gesetzes behandeln. Es ließ sich indes nachweisen, daß bei Massen, die im Verhältnis zu ihrer gegenseitigen Entfernung klein, überdies symmetrisch gebaut und von einer gewissen Festigkeit sind, wie die Masse der Erde, die Gesamtbewegung wirklich so vor sich geht, als ob die Körper durchmesserlos wären.

Dagegen ist die vereinfachte Anwendung des Gesetzes nicht mehr zulässig, sobald einzelne Teile eines beeinflußten Weltkörpers für sich beweglich sind, wie beispielsweise der Wassermantel der Erde. Auf den letzteren müssen Sonne und Mond besondere Anziehungen ausüben, die wir in der Tat als Ebbe und Flut, zusammengefaßt Gezeiten genannt, beobachten. Die Gesamtanziehungskraft, die der Mond auf die Erde ausübt, drückt sich nach dem Newtonschen Gesetze durch die Formel $\frac{m}{r^2}$ aus, wo m die Masse des Mondes, r den Abstand seines Zentrums vom Mittelpunkt der Erde bedeutet. Für einen Punkt der Erdoberfläche, der den Mond gerade im Zenit hat, ist dagegen diese Anziehungskraft etwas größer, denn wir erhalten dafür, wenn wir den Erdhalbmesser d nennen, diese Anziehungskraft gleich $\frac{m}{(r-d)^2}$. Um zu erfahren, wie groß der Unterschied der Anziehungskraft zwischen Mittelpunkt und Oberfläche ist, haben wir die Differenz der beiden eben angegebenen Werte zu nehmen, also $m\left(\frac{1}{r^2} - \frac{1}{(r-d)^2}\right) = m\,\frac{d\,(d-2r)}{r^2\,(r-d)^2}$. Wir können uns hier erlauben, den Halbmesser d insoweit außer acht zu lassen, als er als Vergrößerung der ihm gegenüber sehr großen Entfernung der beiden Weltkörper r erscheint, wir können ihn also in den beiden Klammern des letzten Ausdrucks oben und unten streichen. Eine praktische Durchführung der Rechnung mit den wirklichen Zahlenwerten wird beweisen, daß wir dadurch keinen irgend merklichen Fehler begehen. Wir haben also für jenen Unterschied der Wirkungen annäherungsweise den Ausdruck $\frac{2md}{r^3}$. Das weggelassene Vorzeichen tut hier nichts zur Sache.

Mit dieser Kraft werden also die Gewässer der Ozeane z. B. vom Monde mehr angezogen als der übrige Erdkörper, sobald der Mond gerade über ihnen hinwegzieht. Daß wir diese Anziehungskraft in Wirklichkeit wahrnehmen, ist allbekannt. Ebbe und Flut wechseln täglich zweimal an allen Küsten der Weltmeere, und die zwischen den Zeiten des Hochwassers gelegenen Zeitabschnitte sind überall im Mittel genau gleich dem zwischen zwei Kulminationen des Mondes liegenden Zeitraum; und zwar haben wir hier unter Kulmination des Mondes sowohl seine obere wie auch seine untere zu verstehen. Es entsteht also auch ein Wasserberg in den Gebieten der Erde, die dem Monde gerade abgewendet sind. Dies mag auf den

ersten Blick seltsam erscheinen, erklärt sich aber ganz leicht bei näherer Betrachtung dadurch, daß man für die Punkte, welche den Mond im Nadir haben, die verminderte Anziehungskraft für die Entfernung $r + d$ einzusetzen hat. Die Wassermassen werden hier um ebensoviel weniger angezogen, als das Plus auf der entgegengesetzten Seite der Erde beträgt, es entsteht also eine Gestalt des Wassermantels, wie sie schematisch und übertrieben hier unten abgebildet ist. In der Natur ist die Form der Flutberge begreiflicherweise bei weitem nicht so einfach. Die verwickelte Gestaltung der Kontinente bringt eine Aufstauung und Verzögerung des Wellenberges hervor, die für jeden Küstenort verschiedene Werte hat, aber, abgesehen von besonderen durch Stürme und andere Ursachen hervorgebrachten Störungen, für den betreffenden Ort selbst konstant bleibt, so daß man, nachdem die sogenannte Hafenzeit für einen bestimmten Ort einmal praktisch ermittelt ist, mit Hilfe der Mondbewegung für ihn die Zeiten der Ebbe und Flut beliebig weit im voraus berechnen kann.



Entstehung von Ebbe und Flut durch die Mondanziehung.

Da wegen der überall verschiedenen Werte der Fluthöhe die Gesamtwirkung des Mondes auf die Wassermassen der Erde praktisch niemals wird ermittelt werden können, so hat es wenig Wert, theoretische Untersuchungen darüber anzustellen, weil eben Theorie und Praxis hier nicht miteinander verglichen werden können. Dagegen gibt es eine interessante Probe auf die Richtigkeit unserer Anschauungen über die Ursache von Ebbe und Flut durch den Umstand, daß offenbar auch die Sonne neben dem Mond eine ähnliche Wirkung auf die Gewässer der Erde ausüben muß. Wegen der sehr viel größeren Entfernung der Sonne von uns, die hier noch dazu in ihrer dritten Potenz in Betracht kommt, stellt sich die Solarflut trotz der so gewaltig größeren Sonnenmasse doch geringer heraus als die lunare. Nennen wir die Sonnenmasse M und ihre Entfernung von uns R, so haben wir für das Verhältnis der beiden Fluten zueinander den Ausdruck: $\frac{M r^3}{m R^3}$.

Dieses Verhältnis können wir praktisch ermitteln. Wir beobachten, daß die Fluthöhen periodisch wechseln; sie sind größer zur Zeit des Voll- und des Neumondes, weil die Wirkungen von Sonne und Mond sich dann addieren, am schwächsten zur Zeit des ersten und letzten Viertels, weil sich dann beide entgegenarbeiten. Man hat nun durch direkte Beobachtung gefunden, daß das Verhältnis der Sonnen- zur Mondflut gleich 0,4255 ist. Wir können also diese Zahl unserer letzten Formel gegenüberstellen und irgendeinen ihrer vier Faktoren als unbekannt annehmen, um ihn daraus zu ermitteln. Finden wir diesen selben Wert dann auf einem ganz anderen Wege bestätigt, so dürfen wir unsere Ansicht von dem Zustandekommen der Gezeiten als erwiesen betrachten und damit auch unseren Satz von der besonderen Anziehungskraft jedes Moleküls auf jedes andere im Weltgebäude.

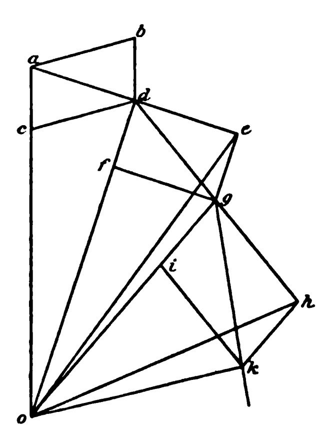
Die beiden Entfernungen r und R ebensogut wie die Sonnenmasse M können wir aus dem Vorangegangenen als genügend bekannt ansehen. Wir nehmen das Verhältnis R : r = 385 und M = 333,000 (s. S. 588). Mit diesen Werten können wir die uns bisher noch ganz unbekannte Masse des Mondes aus den praktisch beobachteten Gezeitenbewegungen ableiten. Wir erhalten dafür $m = \frac{M r^3}{0{,}4255 \times R^3} = \frac{333\,000}{0{,}4255 \times 385^3} = \frac{1}{73}$.

Aus dem auf der Erde beobachteten Verhältnis der Sonnenanziehung zu der des Mondes auf die beweglichen Wasserteilchen der Erde haben wir also gefunden, daß die Masse des Mondes etwa 73mal geringer sein muß als die der Erde. Exaktere Beobachtungen als die der Pulsationen der ewig unruhigen Meeresfläche haben die Masse des Mondes in verhältnismäßig guter Übereinstimmung gleich 1 : 81,6 ergeben. Aber nicht nur jene allgemeinen Bewegungen von Sonne und Mond spiegeln sich in der Bewegung des Meeresniveaus wieder ab, sondern auch die besonderen Stellungen dieser Gestirne: die Fluthöhe wird größer, wenn der Mond sich in seiner Erdnähe befindet, und kann sich zu gefährlichen Springfluten steigern, sobald diese Erdnähe des Mondes mit der Sonnennähe zusammenfällt.

Sicherlich bringt die besondere Anziehung, welche die Gezeiten im Meer erzeugt, auch ähnliche Bewegungen im Luftozean hervor, der die Erde umgibt. Da aber hier keine Veranlassung zu Stauungen der Luftmassen vorliegt, so kann die Ebbe- und Flutbewegung des Luftmeeres nur eine sehr geringe Größe haben, namentlich auch weil die große Elastizität und Beweglichkeit der Luft den Ausgleich rasch befördert. Theoretische Untersuchungen von Laplace und anderen haben selbst für die Wasserflutwelle unter der Voraussetzung, daß sie sich auf einem allseitig die Erde umgebenden Ozeane frei ausbreiten könnte, nur 2½ Fuß Höhe ergeben. Nichtsdestoweniger hat Oppolzer ausgerechnet, daß schon bei einer Höhe von nur einem Fuß täglich 120 geographische Kubikmeilen Wasser durch die Flutwelle scheinbar um die Erde herumgeführt, in Wirklichkeit festgehalten werden, so daß die Erde unter ihnen hinwegrollt. Auch für das Luftmeer finden entsprechende Anziehungen statt. Diese Schwankungen sind indes so gering, daß es untunlich und unwissenschaftlich wäre, daraufhin Wetterprognosen zu machen, wie es seinerzeit von Rudolf Falb und anderen geschehen ist. Auf noch weit weniger sicheren Füßen steht die vom Letztgenannten aufgeworfene Erdbebenhypothese, welche die Anziehung des Mondes auf flüssige Massen des Erdinnern für die Erschütterungen der Erdrinde verantwortlich machen wollte. Wir können uns indes an dieser Stelle nicht weiter darauf einlassen.

Die Anziehungskraft des Mondes und der Sonne auf Teile des Erdkörpers zeigt sich aber noch weit auffälliger in der sogenannten Lunisolarpräzession und Nutation, deren praktische Wirkungen wir schon früher (S. 506 u. f.) kennen gelernt haben. Wir erfuhren, daß die Lage der Erdachse gewissen periodischen Schwankungen unterworfen ist, die sie um die Fläche eines Kegels in rund 26,000 Jahren als Präzession und 18⅔ Jahren als Nutation einmal im Kreise herumführt. Wir sahen ferner, daß wir an einem Kreisel ähnliche Bewegungen hervorbringen können, wenn wir ihm einen seitlichen Stoß während seiner Rotation versetzen. Die betreffende Erdachsenbewegung ist konstant; es muß also eine beständige Kraft wirken, welche die Umdrehungsachse der Erde in jenem Sinne beeinflußt. Diese findet sich wirklich in der besonderen Anziehungswirkung des Mondes und der Sonne auf diejenigen Erdmassen, welche die Anschwellung der abgeplatteten Erde rings um ihren Äquator bilden. Läge diese Anschwellung symmetrisch zur Mond-, bezw. Erdbahn, so würde kein solcher Einfluß eintreten können; da die Erdachse aber einen Winkel

zu diesen Bahnen einschließt, so muß eine besondere Anziehungskraft der betreffenden beiden Gestirne die Erdachse beständig so zu stellen trachten, daß die symmetrische Lage erzeugt wird. Die Theorie, mit deren Hilfe man in ähnlicher Weise, wie wir es für die Gezeiten tun konnten, aus den gegenseitigen Beziehungen die Größe der Präzessions- und Nutationsbewegung herzuleiten vermag, um sie dann mit der wirklich beobachteten zu vergleichen, kann hier nicht näher verfolgt werden; aber eine Parallele mit dem vorangeschickten Beispiel ergibt, daß man mit ihrer Hilfe entweder die Größe der Abplattung der Erde oder, wenn man diese durch die Erdmessungen als genau genug bestimmt ansieht, wiederum die Mondmasse abzuleiten vermag. In beiden Fällen erhält man sehr gut übereinstimmende Werte für diese Größen, verglichen mit anderweitigen Bestimmungen derselben, als eine neue Bestätigung des Newtonschen Gesetzes.

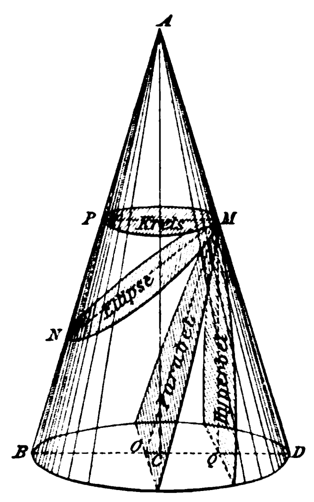


Beweis der Allgemeingültigkeit des zweiten Keplerschen Gesetzes der Zentralbewegungen.

Bisher haben wir namentlich bei den numerischen Berechnungen über die Anziehungskraft der Planeten und Monde von der elliptischen Gestalt ihrer Bahnen Abstand nehmen müssen, indem wir Kreise dafür setzten. Nur bei Gelegenheit der ersten beiden Keplerschen Gesetze sprachen wir von der elliptischen Bewegung der Planeten und den dadurch hervorgerufenen Ungleichheiten. Die theoretische Astronomie vermag aber auch jene beiden Keplerschen Gesetze als spezielle Fälle des allgemeinen Newtonschen Gesetzes nachzuweisen, so wie wir es für das dritte tun konnten. Auch der Beweis für das zweite Keplersche Gesetz gestaltet sich noch einfach. Nach ihm soll ein durch eine Zentralkraft bewegter Körper mit seinem Radius-Vektor immer in gleichen Zeiträumen gleiche Flächen bestreichen. Sei in unserer Abbildung a b die Richtung und das Maß der Geschwindigkeit eines Körpers, wie er von a aus ohne die Wirkung der in o vereinigten Zentralkraft sich bewegen würde, und bewege die Zentralkraft den fallenden Körper in derselben Zeit von a bis c, so würde er nach dem bekannten Satze von dem Parallelogramm der Kräfte sich folglich unter dem gemeinsamen Einflusse von a bis d bewegen. Würde nun die Zentralkraft nicht mehr wirken, so müßte der Körper infolge der Trägheit von d bis e weiter fliegen, und zwar so, daß de = ad ist. In d befindet sich der Körper dem Zentralpunkte o näher als in a; er würde also nun frei fallend in der gewählten Zeiteinheit die Strecke d f durchlaufen, welche größer ist als a c; wieviel, brauchen wir hier nicht zu ermitteln. Aus dem neuen Parallelogramm folgt, daß der Körper sich von d bis g bewegt. Gilt das zweite Keplersche Gesetz, so muß das Dreieck o a d an Fläche dem Dreieck o d g gleich sein, was sehr leicht zu beweisen ist. Ein bekannter Satz der ebenen Trigonometrie besagt, daß zwei Dreiecke mit gleich langer Grundlinie, die außerdem noch eine Seite gemeinsam haben, auch gleichen Flächeninhalt haben. Dies trifft bei den Dreiecken o a d und o d e zu. Aber auch die beiden Dreiecke o d e und o d g haben gleichen Inhalt, weil sie die gleiche Grundlinie haben und ihre Höhen gleich sind, da e g parallel zu o d ist. Wir haben damit bewiesen, daß der Flächeninhalt o a d gleich o d g ist, ohne eine besondere Annahme über die Beschleunigung der Fallgeschwindigkeit bei größerer Annäherung an den Zentralkörper zu machen. Das gleiche läßt sich ohne weiteres für das

Dreieck o g k beweisen, bei dem die Fallhöhe g i sehr bedeutend größer geworden ist als zu Anfang. Wir sehen zugleich, daß die zurückgelegten Strecken a d, d g, g k immer größer werden.

Wir haben hier, um die betreffenden geometrischen Verhältnisse besser überblicken zu können, eine ruckweise Wirkung der im Spiele befindlichen Tangential- und Zentralkräfte angenommen. Bei genügend verkleinerten Verhältnissen der Dreiecke u. s. w. muß sich jedoch aus den Linien a d, d g, g k u. s. w. eine Kurve zusammensetzen, deren Form je nach den wirkenden Kräften verschieden ist, aber durch die mathematische Analyse ermittelt werden kann, wenn das Verhältnis der beiden Kräfte zueinander gegeben ist. Wir haben inzwischen bereits gefunden, daß, wie auch diese Kurve gestaltet sein mag, der Radius-Vektor eines auf ihr sich bewegenden Körpers immer in gleichen Zeiten gleiche Flächenräume bestreichen muß. Dazu ist nur die Annahme nötig, daß er sich unter dem Einfluß einer Zentralkraft bewegt, die aber nicht etwa im Quadrat der Entfernung abzunehmen oder überhaupt anziehend zu wirken braucht; auch für eine abstoßende Kraft würde das zweite Keplersche Gesetz Geltung haben. Suchen wir also in den fernen Himmelsräumen nach Bestätigungen für das Newtonsche Prinzip, so würde ein Körper, dessen Bewegung nur dem zweiten Keplerschen Gesetze genügt, uns diese Bestätigung nicht gewähren.



Kegelschnitte. Vgl. Text hier u. S. 597.

Es leuchtet ein, daß bei einer und derselben Zentralkraft die Form der Kurve bedingt ist durch das Verhältnis der Tangentialgeschwindigkeit zur anziehenden Kraft des Zentrums, d. h. durch das Verhältnis von a b : a c in unserer Figur auf Seite 594. In dem dort gezeichneten Falle nähert sich die Bahn des Körpers dem Zentrum. Hätten wir aber a b wesentlich größer oder a c kleiner genommen, so könnte die Diagonale a d so zu liegen kommen, daß d weiter vom Zentrum entfernt ist als a; dann hätten wir nach dem Newtonschen Gesetze d f kleiner zu nehmen als a c, die Kurve würde sich also immer weiter von Zentrum entfernen. Wir könnten die graphische Darstellung noch weiter verfolgen und dann mit Zirkel und Lineal bei sorgfältiger Ausführung schließlich finden, daß innerhalb gewisser Grenzwerte für das mehrfach erwähnte Verhältnis Figuren entstehen, die, wenn wir die durch unsere Konstruktion entstehenden Ecken zu einer Kurve abrunden, immer Ellipsen sind. Geht man über diese Grenze hinaus, indem man die Tangentialgeschwindigkeit noch weiter vergrößert, so entstehen Kurven, die nicht mehr in sich geschlossen sind, also Hyperbeln. Bei Anwendung des genauen Grenzwertes, d. h. einer ganz bestimmten, nur einmal unter den unendlich vielen Möglichkeiten vorkommenden Verhältniszahl der Tangentialgeschwindigkeit zur Zentralkraft, kommt eine Parabel zustande; eine andere solche nur einmal vorkommende Verhältniszahl gibt einen Kreis.

Alle diese vier Kurven, Kreis, Ellipse, Parabel und Hyperbel, bezeichnet man mit dem gemeinsamen Namen der Kegelschnitte (s. obige Abbildung), weil sie beim Durchschneiden eines geraden Kegels an dessen Schnittflächen entstehen. Führen wir den Schnitt parallel zur Grundfläche des Kegels, so entsteht ein Kreis; neigen wir den Schnitt, so daß er rings die Kegelfläche trifft, jedoch auf der einen Seite in größerem Abstande von

der Spitze als auf der anderen, so entsteht immer eine Ellipse, die sich dem Kreis um so mehr nähert, einen je geringeren Winkel die Schnittebene mit der Grundfläche bildet. Wird dieser Winkel jedoch so groß, daß die Schnittebene parallel der gegenüberliegenden Seite des Kegels wird, sie diese also überhaupt nicht mehr schneiden kann, so entsteht die nicht mehr geschlossene Figur der Parabel. Bei noch größerer Annäherung der Schnittfläche an die erste Seite des Kegels entstehen endlich Hyperbeln. Wir sehen also, daß wir von einem bestimmten Punkte des Kegelmantels B A D, sagen wir von M aus, unendlich viele Schnitte führen können, welche Ellipsen oder auch Hyperbeln erzeugen, aber nur einen einzigen, aus dem ein Kreis oder eine Parabel gebildet wird. Damit unter dem Einfluß des Newtonschen Gesetzes eine Kreisbahn entsteht, muß zwischen der Tangentialgeschwindigkeit und der Anziehungskraft genau das Verhältnis stattfinden, das wir schon früher ermittelt haben (S. 584), d. h. es muß die Schwerkraft in der betreffenden Entfernung gleich $2 r \pi^2 : u^2$ sein. Ein so absolut genaues Verhältnis wird man in der Natur niemals antreffen; es wird also keine genaue Kreisbahn geben, und würde selbst ein Himmelskörper einen Augenblick lang sich in einer solchen bewegen, so würde er durch die anderweitigen Einflüsse, denen er stets ausgesetzt ist, und von denen wir noch zu reden haben, sofort aus der Kreisbahn gezogen werden.

Alle geschlossenen Bahnen von Himmelskörpern im Sonnensystem sind deshalb Ellipsen. Wird die Anziehungskraft größer, als sie für eine betreffende Kreisbahn sein würde, so nähert sich offenbar der Körper der Sonne mehr als in einer Kreisbahn. Die Anziehungskraft nimmt weiter zu, ebenso auch die Tangentialgeschwindigkeit, wie man aus der Abbildung auf Seite 594 unmittelbar ersieht; es entsteht eine Ellipse, deren Aphelpunkt da liegt, wo die Abweichung von der Kreisbahn begann. Wird aber umgekehrt die Tangentialgeschwindigkeit vergrößert, so entfernt sich der Körper von der Kreisperipherie, und es entsteht eine Ellipse, die ihren Perihelpunkt an jener Stelle hat. Die großen Achsen der entstehenden Ellipsen nehmen, wie man durch Zeichnung leicht sehen kann, an Länge beständig zu, je größer die Tangentialkraft im Perihelpunkt angenommen wird. Schließlich wird die große Achse unendlich groß, d. h. die geschlossene Form geht in die offene über. Der Grenzwert des mehrerwähnten Verhältnisses der beiden sich entgegenwirkenden Kräfte läßt sich mathematisch genau ermitteln. Sind wir deshalb imstande, die Geschwindigkeit eines Körpers während seines Periheldurchganges oder in einem anderen Teile seiner Bahn (denn aus dieser kann man auf jene immer schließen) zu ermitteln, so wissen wir stets anzugeben, zu welcher Kategorie von Kegelschnitten die Bahn gehört, insbesondere auch, ob der Körper auf einer in sich zurücklaufenden Bahn wiederkehrt, oder ob er, aus der Unendlichkeit kommend, wieder in diese tauchen muß.

Diese Frage ist namentlich von Wichtigkeit für die Bahnen der Kometen, da wir diese Bahnen immer nur auf einem verhältnismäßig sehr kleinen Stück, das diese Körper während ihrer Sichtbarkeit für uns durchlaufen, untersuchen können. Es handelt sich darum, aus der beobachteten Geschwindigkeit dieser Körper zu schließen, ob sie aus dem Weltall als Fremdlinge des Sonnensystems in dieses eingedrungen sind, oder ob sie ihm von jeher angehört haben. Die Frage spitzt sich nach dem Vorangegangenen mathematisch so zu, daß wir zu entscheiden haben, ob die Tangentialgeschwindigkeit der Kometen auf eine Ellipse oder eine Hyperbel schließen läßt. Eine Parabel ist von vornherein als Bahn für diese Himmelskörper unwahrscheinlich, weil diese Figur ebenso wie der Kreis ein Grenzfall ist. Dem entgegen zeigt es sich aber, daß, mit Ausnahme einiger weniger Kometen, die in deutlich

ausgeprägten Ellipsen laufen, bei weitem die meisten von ihnen Bahnen beschreiben, deren sichtbares Stück die Eigenschaften gerade solcher Parabeln zeigt; und noch seltener als die elliptischen sind die hyperbolischen Kometenbahnen. Also die von vornherein unwahrscheinlichste Form scheint in der Natur die bei weitem häufigste zu sein. Das bedarf der besonderen Erklärung.

Zum Teil ist sie darin gefunden, daß sehr viele Ellipsen und Hyperbeln sich gerade um jenen für die Parabel geltenden Grenzwert scharen, deren für uns sichtbares Stück sich von einem entsprechenden Stück einer Parabel mit unseren Beobachtungsmitteln nicht mehr unterscheiden läßt. Unsere Zeichnung auf Seite 595 mag zum Verständnis dieses Umstandes beitragen. Denken wir uns den erzeugenden Kegel unermeßlich weit fortgesetzt und neigen dann die parabolische Fläche M O nur um ein ganz Unmerkliches gegen M N hin, so entsteht bereits eine Ellipse, jedoch von fast unendlich großer Achse; das hier gezeichnete sehr kleine Stück der Bahn wird sich dabei nur unmerklich geändert haben. Die geringste weitere Änderung der Neigung verändert die Länge der großen Achse sofort bedeutend, während doch wiederum das Stück M O fast gar nicht beeinflußt wird. Es verhält sich die Sache hier wie die Bewegung der Enden zweier sehr ungleich langen Hebelarme: indem der lange Arm einen sehr großen Weg beschreibt, kann der kleine scheinbar ganz unbeweglich bleiben, wenigstens für unser Meßvermögen. Unermeßlich viele Ellipsen von sehr verschiedenen, jedoch immer sehr großen Achsen können uns deshalb in ihren Perihelzweigen wie Parabeln erscheinen, ohne es zu sein. Und gerade so verhält es sich mit ebenso vielen Hyperbeln. Der Widerspruch mit der Wahrnehmung ist damit gelöst, wenn wir noch bedenken, daß wegen der ungeheuern Ausdehnung des Weltgebäudes die Bahnen mit großen Achsen häufiger sein müssen als wenig umfangreiche. Allerdings bedarf dann immer noch der in der Natur sehr deutlich hervortretende Sprung von den verhältnismäßig sehr kleinen Ellipsen der periodischen Kometen zu den sehr großen Ellipsen oder gar Hyperbeln der übrigen einer besonderen Erklärung, die wir noch später zu geben haben werden.

Durch die Beobachtung an sich hat sich nicht entscheiden lassen, ob die Kometenbahnen in Wirklichkeit Ellipsen oder Hyperbeln sind. Laplace hatte sich seinerzeit durch einen Wahrscheinlichkeitskalkul für Hyperbeln entschieden, aber Schiaparelli entdeckte in den Entwickelungen des großen Mathematikers einen Fehler, der das Ergebnis gerade umkehrte und in Verbindung mit anderen Betrachtungen, auf die wir teilweise noch zurückkommen, die Kometen mit Wahrscheinlichkeit als Teile des Sonnensystems erkennen ließ. Im letzteren Falle wird die Bewegung eines Kometen zur Sonne in einer gewissen sehr großen, aber endlichen Entfernung einen Augenblick gleich Null, während seines Durchganges durch das Aphel. Für eine Parabel würde dies theoretisch genau bei seinem Eintritt in die Unendlichkeit stattfinden; bei der Hyperbel aber tritt der Körper bereits mit einer bestimmten Geschwindigkeit in den Umkreis der Anziehungskraft der Sonne, deren beschleunigende Wirkung sich zu dieser ursprünglichen Bewegung noch beständig addiert. Wären nun solche Eindringlinge aus den Räumen der Fixsternwelt wirklich vorhanden, so liegt ohne weiteres kein Grund dafür vor, weshalb sie nicht mit allen sonst am Himmel wahrgenommenen Geschwindigkeiten in die Anziehungssphäre der Sonne eintreten sollten. Dies ist aber zufolge der im Perihel beobachteten Geschwindigkeiten nicht der Fall. Wir sind deshalb in der Tat zu der Annahme berechtigt, daß die Kometen mit den übrigen Teilen des Sonnensystems von jeher ein wenn auch lose zusammenhängendes Ganzes gebildet haben,



innerhalb dessen sie in ungeheuer langen Schwingungen beständig vom Perihel zum Aphel und wieder zurück pendeln.

Dagegen haben wir bereits im Kapitel über die kosmischen Meteore erfahren, daß es kleinere Körper gibt, die gelegentlich an der Erde mit sehr ausgesprochenen hyperbolischen Geschwindigkeiten vorüberschießen; wenigstens zeigen verhältnismäßig viele Meteoriten solche Bewegungen, die es unzweifelhaft machen, daß sie einstmals von außerhalb in das Sonnensystem eingedrungen sind. Es wäre ja auch höchst merkwürdig, wenn angesichts der beständigen Wechselwirkung, die zwischen allen Teilen der Natur besteht, das Sonnensystem allein ganz abgeschlossen sein sollte, so daß es eine Grenze bildete, über die hinaus keine Materie hin- und zurücktreiben könnte.

Um die besondere Form einer Planetenellipse oder Kometenparabel (denn mit diesen rechnet man in der Praxis fast ausschließlich) im Raume festzulegen, bedarf man der Angabe gewisser Konstanten, die man die Bahnelemente nennt. Für die Parabel genügen fünf, für Ellipse und Hyperbel sechs. Zunächst muß die Lage der Ebene, in der die Bahnbewegung stattfindet, zu einer festen Normalebene, für die man immer die Ekliptik wählt, angegeben werden. Wir wissen bereits, daß man die Schnittlinie zweier Bahnen als Knotenlinie bezeichnet, und wir haben demnach als erstes Element die heliozentrische Länge des aufsteigenden Knotens, auf der Ekliptik gezählt, zu verzeichnen. Man belegt sie mit dem Zeichen Ω. Dieser Wert zusammen mit i, der Neigung beider Ebenen, legt sie gegeneinander fest. Als drittes Element kommt die Richtung hinzu, in der die kürzeste Distanz des Körpers, sein Perihel, stattfindet. Diese Richtung wird mit π bezeichnet; in neuerer Zeit gibt man dafür meist die Größe π-Ω an, also den Winkelabstand des Perihels auf der Bahnebene selbst, vom Knotenpunkt an gezählt. Für Parabeln kommt nun noch die kürzeste Distanz selbst q hinzu und endlich die Zeit, wann der Körper durch den betreffenden Punkt gegangen ist, die Perihelzeit T. Für Ellipsen gibt man statt q die halbe Länge a der großen Achse der Ellipse und ihr Verhältnis zum Abstande des Brennpunktes vom Mittelunkte der Ellipse, die sogenannte Exzentrizität, e an. Für Hyperbeln sind zwei geometrisch entsprechende Größen anzugeben, die wir nicht weiter definieren wollen, da dieser Fall in der Praxis ungemein selten vorkommt.

Alle Planeten bewegen sich in ein und derselben Richtung um den Himmel herum; unter den Kometen aber kommen rechtläufige und rückläufige vor. Nach älterem Gebrauche hat man bei diesen also noch den Sinn der Bewegung dem Elementensystem hinzuzufügen. Neuerdings aber ist die Übung in Gebrauch gekommen, bei solchen Bahnen anzunehmen, sie seien gewissermaßen über die senkrechte Richtung zur Ekliptik nach der anderen Seite hinübergekippt, so daß die Neigung ihrer Bahnebenen größer als 90 Grad wird, was der Natur der Sache nach bei anderen Körpern nicht möglich ist. Man gibt deshalb für diese rückläufigen Kometen statt des bisher üblichen Neigungswinkels i seine Ergänzung zu 180° an, wodurch dann die Rückläufigkeit ohne weiteres ausgedrückt ist. Dementsprechend muß dann auch die Zählweise von Ω und π verändert werden.

Es ist eine leichte Aufgabe, aus diesen Elementen für einen beliebigen Augenblick die Lage eines die Sonne umkreisenden Weltkörpers, zunächst von ihrem Mittelpunkte aus gesehen, zu berechnen. Bestimmt man noch weiter aus den Elementen der Erdbahn unsere eigene Lage zum Zentrum des Systems, so kann man ohne weiteres den Beobachtungsstandpunkt von der Sonne auf die Erde verlegen und angeben, in welcher Richtung sich der Körper



für unseren Standpunkt befindet. Weit schwieriger stellt sich dagegen die Lösung der umgekehrten Aufgabe, aus den auf der Erde gemachten Beobachtungen die Bahnelemente eines Körpers zu finden. Auf welche höchst umständliche Weise dies einst Kepler für die Planetenbewegungen zustande gebracht hat, davon haben wir uns im Früheren bereits ein Bild zu machen gesucht (S. 575 u. f.). Es war dazu eine sehr große Anzahl von rings um den Himmel verteilten Beobachtungen der betreffenden Planeten nötig.

Heute ist die mathematische Analysis bedeutend weiter vorgeschritten; wir können auf viel direkterem Wege zur Kenntnis jener Konstanten gelangen. Streng genommen sind nach den allgemeinen Regeln der Analysis dazu nur drei Beobachtungen eines Körpers nötig, da diese drei Orte am Himmel mit den zugehörigen drei Beobachtungszeiten sich in sechs Gleichungen bringen lassen müssen, in denen gleichzeitig die sechs unbekannten Bahnelemente vorkommen, wenn es sich um eine Ellipse handelt. Aber die betreffenden sechs Ansatzgleichungen gestalten sich so kompliziert, daß ihre direkte Lösung der mathematischen Kunst bisher nicht gelungen ist. Man mußte, wie es in der astronomischen Praxis sehr vielfach vorkommt, zu indirekten Lösungen seine Zuflucht nehmen, indem man gewisse, zunächst willkürliche Annahmen über den wahren Wert der Elemente machte, um nach Einsetzung in die Gleichungen zu sehen, inwieweit den Beobachtungen dadurch genügt wurde, und sich so allmählich weitere Näherungen an die Wahrheit verschaffte. Man kann sich wohl denken, daß dieses Verfahren recht langwierig war. Es erforderte manchmal tage- und wochenlange Rechnungen, bis man das Glück hatte, auf nahezu richtige Werte zu stoßen. Erst Ende des 18. Jahrhunderts fand der geniale Bremer Arzt Olbers, der später ein berühmter Astronom geworden ist, ein Verfahren, durch das ein geschickter Rechner die fünf Elemente einer Kometenbahn in einigen Stunden bequem aus drei vorliegenden Beobachtungen berechnen kann.

Das Verfahren beruht darauf, daß man zunächst alle Unbekannten bis auf zwei eliminiert, die sich dann als Entfernungen des Kometen von der Erde für zwei der benutzten Beobachtungen darstellen. Für diese Entfernungen sind zunächst Annahmen zu machen. Da erfahrungsgemäß die Entfernungen der Kometen während ihrer Sichtbarkeitsperiode innerhalb gewisser verhältnismäßig enger Grenzen bleiben, so wird schon eine erste Annahme über diese Entfernungen nicht allzuweit von der Wahrheit abweichen. Es besteht aber eine bestimmte, durch die Beobachtungen gegebene Beziehung zwischen den beiden ins Auge gefaßten Entfernungen. Wird diese durch die erste Annahme nicht erfüllt, so muß man eine zweite machen u. s. f., bis die betreffende Gleichung befriedigt wird, worauf man dann durch ein direktes Rechnungsverfahren die Elemente erhält. Für Kometenbahnen geben die drei Beobachtungen gewissermaßen eine überschüssige Gleichung, da nur fünf Elemente zu bestimmen sind. Man kann deshalb hier eine Probe auf das Exempel machen, die etwas mehr als die Richtigkeit der einfachen Rechnungsoperationen beweist, indem man alle drei Beobachtungen aus den Elementen wieder darstellt. Es ist dann auch bei ganz fehlerloser Rechnung nicht nötig, daß alle Beobachtungen genau wiedergegeben werden; dies wird vielmehr nur geschehen, wenn die beobachteten Orte wirklich auf einer Parabel liegen, welche Form für Kometen stets vorauszusetzen ist. Die eventuell gefundene Abweichung kann zwei Ursachen haben: entweder waren die Beobachtungen nicht in aller Strenge richtig, was wohl meist der Fall sein wird, wenn es sich um eben entdeckte, oft ungemein schwach leuchtende Kometen handelt, die im Instrument schwer zu pointieren sind; oder



der Komet bewegt sich wirklich entweder in einer Ellipse oder in einer ausgeprägten Hyperbel. Die Größe der gefundenen Abweichung wird in der Regel über die beiden Möglichkeiten entscheiden können.

Aber auch wenn sich gleich von vornherein nach der ersten Bahnbestimmung eine deutliche Abweichung von der Parabelform herausstellt, pflegt man zunächst keine neue Berechnung vorzunehmen, da die ersten Bahnbestimmungen nur den Zweck haben, sogenannte Ephemeriden für den neuen Körper zu berechnen, in denen der scheinbare Lauf des Kometen für die nächsten Wochen im voraus angegeben wird, damit man ihn während etwaiger längerer Perioden schlechten Wetters nicht ganz aus den Augen verlieren kann. Da sich alle drei Arten von Kegelschnitten im Perihel sehr ähnlich sind, so kann durch eine Verwechselung des einen mit dem anderen keine für die Praxis schädliche Abweichung entstehen. Zu einer endgültigen Bahnbestimmung entschließt man sich erst, nachdem der Komet bereits wieder verschwunden ist, und seine rings um den Erdball herum gemachten Beobachtungen gesammelt vorliegen.

Es ist dann eine ziemlich langwierige, wenn auch theoretisch leichte Aufgabe, diejenige Bahn zu ermitteln, die für alle diese Beobachtungen die geringste Quadratsumme der Fehler (s. S. 428) übrigläßt. Man prüft zu diesem Zweck zunächst die Beobachtungen selbst auf das sorgfältigste; die Örter der benutzten Vergleichssterne werden möglichst noch einmal am Meridiankreise bestimmt, dann die von den Wirkungen der atmosphärischen Strahlenbrechung befreiten Beobachtungen nochmals aus den direkten Angaben der Instrumente berechnet, woraus nun die scheinbaren Rektaszensionen und Deklinationen des neuen Gestirnes erhalten werden. Diese müssen dann von den Wirkungen der Präzession und Nutation befreit werden, indem man sie auf das mittlere Äquinoktium eines bestimmten Jahresanfanges bezieht, d. h. alle Winkel von diesem aus mißt. Ferner müssen mit Hilfe der ungefähren Entfernungen des Kometen von uns, welche die vorläufige Bahn ergeben hat, die Beobachtungszeiten durch Abzug der Lichtzeit (s. S. 540) auf den Abgang des Lichtes vom Kometen reduziert werden. Darauf wählt man die beste bis dahin bekannte Bahn aus, berechnet die genauen Orte, die diese Bahn für die betreffenden Zeiten ergibt, und zieht sie von den wirklich beobachteten Orten ab. Es ergeben sich dann Differenzen der Beobachtung mit der Rechnung (B—R), die noch verschieden gruppiert werden, um Eigentümlichkeiten der Beobachter, die sich durch Vergleichung ungefähr gleichzeitig an verschiedenen Sternwarten ausgeführter Beobachtungen ergeben, auszumerzen und für die ungleiche Güte der Messungen selbst Anhaltspunkte zu finden, nach denen die Beobachtungen mit verschiedenen Gewichten in die weitere Rechnung eingeführt werden. Ferner werden die oft vorliegenden mehreren hundert Differenzen B—R zusammengefaßt, so daß nur eine verhältnißmäßig geringe Anzahl, die etwa zu 10—12 sogenannten Normalorten gehören würden, übrigbleiben. Diese letzteren Normalabweichungen in A. R. und D werden nun ebenso vielen linearen Gleichungen mit je sechs Unbekannten beigefügt, die nach der Methode der kleinsten Quadrate aufzulösen sind und die Korrektionen der angenommenen Elemente zugleich mit ihren wahrscheinlichen Unsicherheiten ergeben. Es ist hierbei im voraus keinerlei Annahme über die Form des Kegelschnittes gemacht worden; ergibt sich die Exzentrizität nach der Korrektion kleiner als 1, so ist die Bahn eine Ellipse von der bestimmten Form, welche die übrigen Elemente fordern; ist sie gleich 1, so bleibt die Parabel bestehen, während $e > 1$ eine Hyperbel angibt.

Alle diese Rechnungen werden unter der Voraussetzung angestellt, daß das Newtonsche Prinzip absolute Gültigkeit hat; nur für die Form des daraus folgenden Kegelschnittes ist Spielraum gelassen. Dagegen sind alle astronomischen Untersuchungen darauf zugespitzt, gerade etwaige Abweichungen von diesem Prinzip aufzudecken, und in der Tat finden wir die Kontrolle für unsere Voraussetzungen darin, daß die schließlich übrigbleibenden Abweichungen B—R nicht größer sein dürfen, als die allgemeine Unsicherheit unserer Beobachtungsmethoden dies zuläßt. Dies hat sich für alle bisher untersuchten Kometen mit Ausnahme derjenigen wenigen Fälle, deren wir bereits im ersten Hauptteile dieses Werkes (Seite 219 u. f.) gedachten, völlig bewährt. Ja die Kometen halten zum Teil ihre Newtonschen Bahnen mit größerer Genauigkeit inne, als es uns zuweilen angenehm ist; es bleibt uns, wie wir schon seinerzeit anführten, unerklärlich, daß jene Kometen, die der Sonne fast bis auf den Leib rückten, ihre Bahnen gar nicht veränderten.



Karl Friedrich Gauß, geb. in Braunschweig 1777, gest. in Göttingen 1855. Nach einem Gemälde von C. A. Jensen. Vgl. Text, S. 602 u. 604.

Wir haben bisher alle Bewegungen der Himmelskörper so ins Auge gefaßt, als ob immer nur zwei derselben existierten, von denen der eine der bewegende, der andere der bewegte ist. Dies entspricht aber ebensowenig der Wirklichkeit wie dem Newtonschen Prinzip, das besagt, daß jedes Molekül jedes andere im Raume anzieht. Wenn also einerseits die Erde von der Sonne angezogen wird und dadurch ihre Bahn beschreiben muß, so muß auch die Sonne von der Erde gezwungen werden, eine Bahn nach dem Newtonschen Prinzip zu beschreiben, und ferner müssen auch Erde und Sonne und alle übrigen Planeten sich untereinander beeinflussen. Die auf die bisherige Weise gefundenen Planeten- und Kometenorte dürfen also mit der Wirklichkeit überhaupt nicht übereinstimmen, wenn das Newtonsche Prinzip richtig ist; und auch dies findet sich in der Natur bestätigt. Der Lauf aller Himmelskörper wird durch die sogenannten Störungen beeinflußt, deren wir einige beim Monde bereits kennen

gelernt haben. Wenn die theoretisch notwendigen Abweichungen sich in Wahrheit als sehr gering herausstellen, so liegt dies nur daran, daß in unserem System die Masse der Sonne vor der aller übrigen Körper so wesentlich vorherrschend ist. Nehmen wir beispielsweise das System Sonne-Erde heraus und bezeichnen die Masse der Sonne mit M, die der Erde mit m, ferner ihren gegenseitigen Abstand mit r, so haben wir nach dem Newtonschen Prinzip die Anziehungskraft der Sonne auf die Erde gleich $M : r^2$, die der Erde auf die Sonne dagegen gleich $m : r^2$. Da durch beide Anziehungen der Radius verkleinert wird, so müssen wir die beiden Gleichungen addieren, um ihre Gesamtwirkung zu erhalten. Wir dürfen also, um genau zu gehen, nicht wie bisher zur Berechnung der Erdbewegung die Formel $M : r^2$ anwenden, sondern müssen dafür setzen $(M + m) : r^2$. Wir haben nun schon auf Seite 588 den Wert von $M = 333{,}000$ gefunden und diesem nur noch eine Einheit hinzuzufügen, um die Wirkung der Erde mit zu berücksichtigen. Durch dieses Hinzutreten der Masse des bewegten Körpers für die Berechnung seiner Bewegung bleibt aber das dritte Keplersche Gesetz nicht mehr ganz richtig. Die Quadrate der Umlaufszeiten verhalten sich nicht genau wie die Kuben der halben großen Achsen, weil für jeden Planeten ein besonderer Faktor, der seine Masse enthält, noch hinzutritt. Man wird leicht finden, daß anstatt der einfacheren Formel, die jenes Gesetz dafür gibt, die Gleichung zwischen der mittleren Geschwindigkeit v eines Planeten und seinem Sonnenabstand a lauten muß: $a = \sqrt[3]{\frac{k^2(1+m)}{v^2}}$, wo k eine für das ganze Sonnensystem geltende Konstante ist und das betreffende Verhältnis für die Erdbahn enthält. Man hat sie nach ihrem Berechner, dem großen Mathematiker und Astronomen Gauß (s. Abbildung, S. 601), die Gaußsche Konstante genannt; sie ist durch folgende Relation ausgedrückt: $k = \frac{v\, a^{3/2}}{\sqrt{1+m}} = 3548{,}188''$. Hier ist v in Bogensekunden und für einen mittleren Sonnentag, a in Sonnenentfernungen, für die Berechnung von k also gleich 1, m in Teilen der Sonnenmasse angenommen.

Ist diese notwendige Korrektion auch in bezug auf die Erde wegen ihrer sehr geringen Masse sehr klein, so wird sie doch ganz beträchtlich für die größeren Planeten, insbesondere für Jupiter und Saturn. Wiederholen wir z. B. die Rechnung für Jupiter einmal nach dem einfachen Keplerschen Gesetze, das andere Mal mit Berücksichtigung seiner Masse, die aus den Bewegungen der Satelliten sich als 1048mal geringer als die Sonnenmasse ergibt, und nehmen wir für v den sehr genau bestimmten Wert 299,129'', so ergibt sich ein Unterschied für die Entfernung Jupiters von der Sonne von 0,0016 Teilen der astronomischen Einheit. Diese Abweichung ist immerhin noch gering genug, um in der Praxis erst durch die Anwendung unserer modernen Beobachtungskunst und mathematischen Analyse empfunden werden zu können; nur darf nicht vergessen werden, daß das dritte Keplersche Gesetz lediglich eine Annäherung an die wahren Verhältnisse gibt, die nur wegen der stark vorwiegenden Sonnenmasse für unser System so bedeutend ist.

Infolge der Wirkung der Planeten auf die Sonne muß auch diese sich in bezug auf jene bewegen: sie beschreibt eine Bahn um den gemeinschaftlichen Schwerpunkt des Systems. Da sich dieser aber wegen der fortwährenden Lageänderung der Planeten seinerseits verschiebt, so ist die Bahn der Sonne eine sehr verschlungene. Ihre Berechnung ist eine Aufgabe der Störungstheorie, mit der wir uns nunmehr zu beschäftigen haben.

Ist die gegenseitige Wirkung zweier Körper verhältnismäßig leicht zu berücksichtigen, so wird die Aufgabe ungemein schwierig, sobald ein dritter Körper hinzutritt. Das Problem der drei Körper ist in aller Strenge theoretisch überhaupt noch ungelöst. Wir

wissen nicht, in was für einer Kurve sich ein Körper bewegt, der nach dem Newtonschen Anziehungsgesetze von zwei anderen zugleich beeinflußt wird; wir können zwar die zugehörigen Gleichungen ohne weiteres aufstellen, aber ihre Auflösung ist bis heute der Analyse nicht gelungen. Wir sind also auch bei diesem Problem wieder auf die indirekte Lösung angewiesen, indem wir durch wiederholte Annahmen über die Unbekannten in jedem einzelnen Falle annäherungsweise die zugehörige Kurve berechnen. Glücklicherweise liegen im Sonnensystem die Verhältnisse insofern günstig, als die großen Planeten in verhältnismäßig großen Zwischenräumen um die Sonne kreisen. Die besondere Anziehung, die ein Planet auf einen anderen ausübt, bemißt sich selbstverständlich ebenso wie die Hauptanziehung durch den Ausdruck $m : \varrho^2$, wobei hier ϱ der gegenseitige Abstand beider Planeten ist; da dieser niemals klein werden kann, so bleibt also die Wirkung immer unbedeutend.



Pierre Simon Laplace, geb. in Beaumont-en-Auge 1749, gest. in Paris 1827. Nach einem französischen Kupferstich. Vgl. Text, S. 604.

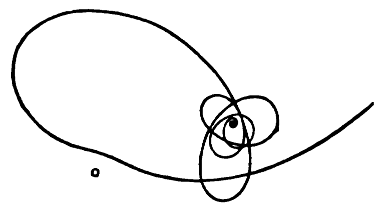
Wir können uns hiervon leicht ein ungefähr zutreffendes Bild machen, indem wir einen maximalen Wert für die störenden Wirkungen des Planeten Jupiter auf seinen Nachbar Mars bestimmen. Nehmen wir an, Sonne, Mars und Jupiter befinden sich in einer geraden Linie, so daß Mars die Mittelstellung einnimmt, dann ist die gegenseitige Entfernung der beiden Planeten gleich der Differenz ihrer mittleren Entfernungen von der Sonne, also 5,203—1,524 = 3,679. So ergibt sich die Wirkung des Jupiter auf den Mars gleich $\frac{1}{1048 \times 3{,}68 \times 3{,}68} = \frac{1}{14190}$. Die Wirkung der Sonne auf Mars ist aber gleich $\frac{1}{1{,}524 \times 1{,}524} = \frac{1}{2{,}323}$. Beide Resultate durcheinander dividiert ergeben, daß die Wirkung des Jupiter auf Mars im Maximum immer noch 6110mal geringer ist als die der Sonne. Immerhin ist diese Wirkung bei der Genauigkeit, mit der wir heute die himmlischen Bewegungen verfolgen, keineswegs zu vernachlässigen. Leider ist die Berücksichtigung solcher Störungswirkungen wegen der schon erwähnten Unvollkommenheit der mathematischen Analyse bei der numerischen Berechnung eine sehr langwierige Sache; man muß auch hier wieder

näherungsweise vorgehen. Um nämlich die Wirkung der Anziehungskraft zu finden, braucht man eigentlich sofort die Kenntnis der wahren Abstände der Planeten voneinander und auch ihrer wirklichen Massen; die Abstände aber vermögen wir zunächst nur mit Hilfe des Newtonschen Gesetzes zu berechnen, indem wir die störenden Wirkungen der anderen Planeten außer acht lassen, denn auf rein geometrischem Wege, etwa durch Parallaxenmessung, lassen sich, wie wir wissen, diese Entfernungen nicht mehr genau genug bestimmen. Die gefundenen Abstände sind also nur Näherungen. Indem wir diese benutzen, um die Störungen zu berechnen, müssen die letzteren selbst notwendig fehlerhaft ausfallen, denn auch die angewandten Massen des störenden Planeten können wir nur unter der Voraussetzung aus den Beobachtungen genau berechnen, daß wir eben wieder die Abstände genau kennen. Da aber der Einfluß einer fehlerhaften Annahme über die Abstände für die berechneten Störungen sich sehr stark vermindert, so kann man bei einer derartigen Methode doch sicher sein, daß man nach mehrfacher Wiederholung der betreffenden Rechnungsoperation den wahren Wert erhält. Wir haben schon häufig ähnliche indirekte Wege kennen gelernt, auf denen der rechnende Astronom in den meisten Fällen durch fortgesetzte Annäherung seinem Ziel entgegenstreben muß.

Eine Folge dieser besonderen Anziehungen dritter Körper ist auch die Bewegung der Apsiden- und Knotenlinien, die ebenso, wie wir sie bei Sonne und Mond kennen gelernt haben, bei allen anderen Körpern des Sonnensystems zu beobachten ist. Den Zusammenhang zwischen Ursache und Wirkung in diesem Falle zahlenmäßig festzulegen, gehört zu den verwickeltsten Aufgaben der Analyse. Es war zuerst Laplace (s. Abbildung, S. 603), der in seiner berühmten „Mécanique céleste" alle mathematisch zu verfolgenden Konsequenzen aus dem Newtonschen Gesetze zog und insbesondere die Störungstheorie in grundlegender Weise bearbeitete. Ihm folgten Gauß (s. Abbildung, S. 601), Hansen, Gyldén und in neuerer Zeit der geniale, im Jahre 1896 verstorbene Direktor der Pariser Sternwarte, Tisserand. Ein interessantes, in der Berliner Urania ausgeführtes Experiment zeigt die entsprechende Wirkung augenscheinlich. Der eine Pol eines stabförmigen, oben halbkugelig abgedrehten Elektromagneten war unmittelbar unter einer Glasplatte angebracht. Wenn man nun eine in schwarze Tusche getauchte kleine Stahlkugel mit bestimmten Anfangsgeschwindigkeiten und Richtungen über die Platte hinrollen ließ, so zeichnete die Kugel Spuren auf die Platte, die je nach der Anfangsgeschwindigkeit den Charakter einer Ellipse, Parabel oder Hyperbel hatten. Allerdings gingen die Kurven meist bald infolge der Reibung am Glase in enger und enger werdende Spiralen über, bis die Kugel über dem Magneten zur Ruhe kam. Legte man auf die Glasscheibe einen schwächeren Magneten P derart, daß die Kugel in der Nähe eines seiner Pole vorübereilen mußte, so zeigten die aufeinander folgenden elliptischen Abschnitte der Spirale sehr starke Bewegungen der Richtung ihrer großen Achse (s. die Abbildung, S. 605). Solche regelmäßig fortschreitenden Störungswirkungen, welche die Richtung des Perihels und des Knotens sehr langsam, aber gleichmäßig rings um die Bahnperipherie herumführen, so daß sie im Laufe der Jahrtausende jeden Wert von 0—360 Grad einnehmen können, nennt man die säkularen Störungen der Elemente, im Gegensatz zu den vorhin besprochenen periodischen Störungen, die ein Planet auf einen anderen bei der Annäherung beider nur vorübergehend auszuüben scheint. In Wirklichkeit sind indes die säkularen Störungen nur Summierungen dieser periodischen.

Man kann nun natürlich auch umgekehrt aus den beobachteten Störungen der Elemente bekannter Himmelskörper auf unbekannte oder nicht genügend bekannte störende Massen schließen, wovon wir schon ein sehr interessantes Beispiel Seite 269 mitteilten. Wir führten dort aus, wie Seeliger die Masse des Zodiakallichtkörpers aus den beobachteten und nicht durch gegenseitige Einflüsse zu erklärenden säkularen Bewegungen der Apsidenlinie der inneren Planeten, insbesondere des Merkur, berechnen konnte.

Die Masse des Merkur selbst ist eine der am wenigsten genau bekannten Größen im Planetensystem, weil dieser Planet keine Monde besitzt, deren Bewegungen sie genauer erkennen lassen würde, wie wir an dem Beispiel des Jupiter Seite 590 sahen. Aus der Anziehung, die er auf die anderen Planeten übt, folgerte Newcomb seine Masse zu einem Siebenmillionenstel der Sonnen — oder $^1/_{21}$ der Erdmasse. Nun kommt ihm der Enckesche Komet näher als sonst ein anderer bekannter Himmelskörper, und er wirkt deshalb merklich auf die Bewegung des Kometen ein. Backlund hat rückschließend daraus die Masse des Merkur gleich etwa $^1/_{29}$ der Erdmasse gefunden, eine bemerkenswerte Annäherung an die Wahrheit, soweit wir sie kennen, und eine neue Bestätigung der Theorie.


Bewegung einer Stahlkugel unter dem Einfluß zweier Magnete. Vgl. Text, S. 604.

Diese verlangt auch, daß die Abplattung eines Planeten eine Bewegung der Apsidenlinie der Bahnen seiner Satelliten hervorbringt. Man konnte deshalb die Abplattung der Erde aus der Bewegung des Mondperigäums (S. 518) berechnen und fand sie mit der direkt gemessenen übereinstimmend. Ebenso bei den Systemen von Jupiter und Saturn, soweit man die säkularen Störungen ihrer Satellitenbahnen beobachten konnte.

Es ist von besonderer Wichtigkeit für die Fragen, die sich mit der allgemeinen Beschaffenheit, der Vergangenheit und Zukunft unseres Systemes befassen, gewisse allgemeine Eigenschaften der Störungen zu erkennen. Die höchsten Aufgaben der Himmelsmechanik beschäftigen sich mit hierauf bezüglichen Untersuchungen. Deren Hauptresultate kann man in drei Sätzen zusammenfassen. Der erste, der die gleichmäßig fortschreitende Bewegung der Perihelien und Knoten betrifft, ist bereits oben dargestellt. Der zweite Satz besagt, *daß die Exzentrizitäten und Neigungen der Bahnen gleichfalls Störungen ausgesetzt sind, die aber innerhalb gewisser enger Grenzen auf und ab schwanken*, so daß niemals eine Bahn mit geringer Exzentrizität zu einer stark elliptischen werden kann, oder die Neigungen der Planetenbahnen, die sich gegenwärtig innerhalb weniger Grade um die Ekliptik scharen, jemals wesentlich andere werden können. Der dritte Satz endlich sagt aus, *daß die halben großen Achsen und folglich auch die mittleren Bewegungen der Planeten überhaupt keinen Störungen unterworfen sind.*

Die beiden letzteren Sätze sind offenbar von ungemein großer Wichtigkeit für die Erhaltung geordneter Verhältnisse in unserem System. Wir wissen aus unseren Betrachtungen über die Wechselbeziehungen des Sonnenstandes zu den Klimaten der Erde, welche große Rolle die Exzentrizität und die Schiefe der Ekliptik hierbei spielen (s. S. 499 u. f.). Wären also beide Elemente starken Schwankungen unterworfen, so würde eine fortschreitende Entwickelung des Lebens durch die geologischen Zeitalter zur Unmöglichkeit werden. Wir sahen ja, wie bereits die sehr geringen Schwankungen des Klimas, die zwischen der

Nord- und Südhalbkugel der Erde durch das langsame Fortschreiten des Perihels der Erdbahn erzeugt werden, und die mit Wahrscheinlichkeit als Ursachen der Eiszeiten anzusprechen sind, einschneidende Unterbrechungen im Entwickelungsgang der irdischen Natur erzeugen konnten. Die Theorie der himmlischen Bewegungen gibt uns also die beruhigende Versicherung, daß, solange nicht völlig unbekannte Kräfte in die Ordnung des Sonnensystems eingreifen, diese Ordnung nicht gestört werden kann. Noch wichtiger als der zweite Satz ist der dritte von der Unveränderlichkeit der mittleren Entfernungen. Wären diese irgendeinem regelmäßigen Einfluß ausgesetzt, so liegt es in der Natur der Sache, daß dieser fortdauernd in dem gleichen Sinne wirken müßte: die Entfernungen der Planeten von der Sonne müßten also entweder dauernd zu- oder abnehmen. Im ersteren Falle würden die Planeten schließlich in den kalten, dunkeln Weltraum hinausgestoßen werden, im anderen in die glühende Sonne stürzen, wenn sie nicht vorher schon gegenseitig aneinander stießen. Dies ist nach dem unzweifelhaften Zeugnis der Theorie nicht möglich, solange das Newtonsche Gesetz allein ihre Bewegungen regelt. Zwischen die Planeten sind weite Grenzräume gelegt, die sie zum beiderseitigen Wohl ewig voneinander trennen.

Die Unveränderlichkeit der mittleren Entfernungen ist theoretisch an eine Bedingung geknüpft, die, soviel wir übersehen können, nur ganz zufällig im Sonnensystem erfüllt ist: es dürfen die Planeten keine Umlaufszeiten haben, deren Verhältnis durch kleine, ganze Zahlen ausgedrückt wird; es darf z. B. ein Planet nicht gerade die doppelte oder die dreifache Umlaufszeit wie ein anderer haben, oder, wie der fachmännische Ausdruck lautet, die Umlaufszeiten dürfen nicht kommensurabel sein. Schon wenn ein solches Verhältnis nur annähernd vorhanden ist, entstehen Störungen von so langen Perioden, daß sie als säkular fortschreitende zu betrachten sind und dadurch bedenkliche Annäherungen zur Folge haben können. Man sieht auch leicht, daß solche Wirkungen dann eintreten müssen. Bewegt sich z. B. ein Planet doppelt so schnell wie der andere, so treten dieselben Entfernungen beider Planeten voneinander in denselben Richtungen regelmäßig nach jedem zweiten Umlaufe des einen und bei jedem einzelnen Umlaufe des anderen wieder ein. Die Störungswerte $m : \varrho^2$ haben also innerhalb dieser Periode immer wieder dieselbe Größe und Richtung. Während der kürzesten Entfernung beider Planeten möge z. B. der hauptsächlich störende der äußere sein, der gestörte, noch einmal so schnell laufende, der innere, und beide mögen ursprünglich Kreisbahnen beschreiben. Die Störung während der Konjunktion nähert den gestörten Planeten dem anderen, und er wird offenbar aus seiner Kreisbahn derart geschoben, daß er hier seine größte Sonnenentfernung hat, das Perihel also um 180° vom Konjunktionspunkte absteht. Nach einem Umlaufe des inneren Planeten befindet sich der äußere gerade in der Perihelrichtung des anderen, während dieser wieder im Aphel ist. Der störende Planet wirkt nun zwar in umgekehrtem Sinne wie vorhin, aber der gestörte ist um einen vollen Durchmesser seiner Bahn weiter von ihm entfernt, die Wirkung ist also viel geringer. Der gestörte Planet behält deshalb seine Perihelrichtung bei, und nur die Exzentrizität wird etwas verringert.

Das Spiel setzt sich bei allen Umläufen in gleicher Weise fort, so daß die Exzentrizität des gestörten Körpers dauernd zunehmen muß, bis beide Körper im Konjunktionspunkte zusammenstoßen. Wie diese sich summierenden Wirkungen auch auf die mittlere Entfernung Einfluß haben, kann hier nicht weiter ausgeführt werden, genug, daß die verderbliche



Wirkung solcher regelmäßig bei ein und derselben heliozentrischen Länge wiederkehrenden Konjunktionen zweier Planeten dargetan ist. Finden dagegen die Konjunktionen in verschiedenen Richtungen, von der Sonne aus gesehen, statt, so daß jeder Punkt der betreffenden Bahnen im Laufe eines gewissen Zyklus dieselbe Wirkung erfahren kann, wie wir sie für einen bestimmten Punkt vorhin erhielten, so entstehen die Vergrößerungen der Exzentrizität auch nacheinander rings um die Bahn herum, d. h. die Apsidenlinie wird um den ganzen Umkreis langsam herumgeführt, wie es nach dem erst angeführten Satze der Störungstheorie der Fall sein muß. Dagegen kann eine Summierung der Wirkungen in einer bestimmten Richtung nun nicht mehr stattfinden.

Bei den beiden größten Planeten unseres Systems, Jupiter und Saturn, findet übrigens ein solches bedenkliches Verhältnis nahezu statt. Zwei Umlaufszeiten des Saturn sind beinahe gleich fünf des Jupiter. Wir erhalten nämlich im ersten Falle 21,518, im zweiten 21,663 Tage; der Unterschied von 145 Tagen ist im Verhältnis der ganzen Periode klein. Es entstehen deshalb zwischen den beiden mächtigen Planeten periodisch regelmäßig wiederkehrende Annäherungen, die einen ziemlich großen Betrag erreichen, aber in einem Turnus von etwa 930 Jahren durch ebenso große Zunahme der gegenseitigen Entfernung ausgeglichen werden. Innerhalb dieser Zeit werden diese Planeten periodisch um 20′, beziehungsweise 45′ gegen die Orte verschoben, die sie ohne ihre gegenseitige Wirkung einnehmen würden.

In dem breiten Ringe, der zwischen Mars und Jupiter von den kleinen Planeten ausgefüllt wird, gibt es aber eine Anzahl von Gebieten, wo ein nach dem Newtonschen Gesetz umlaufender Körper eine zu der des Jupiter kommensurable Umlaufszeit besitzen würde, so daß sich in diesen bestimmten Abständen die Störungen dauernd summieren müßten. Hier findet nun eine glänzende Bestätigung der eben entwickelten Theorie statt, indem, wie Kirkwood zuerst zeigte, hier sehr auffällige Lücken vorhanden sind. Da die Verteilung der kleinen Planeten in jenem Ringe im übrigen keinem Gesetz zu unterliegen scheint, so können wir diese Lücken nicht anders erklären, als daß hier ursprünglich vorhanden gewesene kleine Planeten durch die störenden Wirkungen Jupiters aus diesen Gebieten ausgewiesen wurden, indem sich allmählich ihre mittlere Entfernung entsprechend veränderte. Der neuentdeckte Planet Eros (s. S. 152) dürfte solch ein ausgewiesener Körper sein.

Ganz augenfällig ist ein solches Eingreifen bei den Saturnringen zu bemerken. Der Verfasser vermochte durch einfache Rechnung zu zeigen, daß die Begrenzungslinien und die bekannten Trennungen der Ringe sich in Abständen vom Saturnzentrum befinden, in denen die störenden Wirkungen der Saturnmonde auf hier kreisende Körper in dem vorhin geschilderten Sinne sich summieren müssen. Die Rechnung ergab dabei in einer gewissen Entfernung eine Summe von Wirkungen, die zwar geringer war als die auf die bekannten Trennungslinien sich konzentrierenden, aber doch noch stark genug schien, daß hier unter Umständen eine solche Trennung sichtbar werden dürfte. In der Tat wurde nachträglich an dieser Stelle von Holden eine Trennungslinie gesehen. Würden nicht andere Umstände bereits zu der Annahme gezwungen haben, daß die Saturnringe aus einer unzähligen Menge kleinster Körper bestehen, die sich nach Maßgabe des Newtonschen Gesetzes als Monde um den Hauptkörper bewegen, so würde das eben erörterte Zusammenfallen der Trennungslinien einen vollgültigen Beweis hierfür geliefert haben. Auch die abwechselnd auf der einen und der anderen Ringseite beobachtete exzentrische Lage der Enckeschen Trennungslinie (s. S. 174) ist eine Bestätigung hierfür. Die Perisaturnien (d. h. die Punkte der größten

Annäherung an Saturn) der betreffenden Systeme von Satellitenbahnen sind infolge der großen äußeren Monde säkularen Störungen unterworfen, die hier die Apsidenlinien für das ganze System in der Umgebung der Enckeschen Trennung mit nahezu gleicher Geschwindigkeit um den Saturn führen.

Die vorangehenden Betrachtungen über die Unveränderlichkeit der halben großen Achsen der Planetenbahnen und ihre Beziehungen zur Kommensurabilität der Umlaufszeiten beruhen auf den Untersuchungen von Laplace. Neuere, noch tiefer gehende Untersuchungen von Gyldén, Poincaré, Seeliger, Tisserand, Callandreau, Newcomb und anderen haben die Theorie noch weiter ausgebildet. Es fand sich dabei, daß bei vollständiger Entwickelung der betreffenden Formeln, die dann für eine ganze Weltbildungsperiode ihre Gültigkeit behalten, auch bei kommensurabeln Umlaufszeiten zweier Planeten nur in fast unendlich langen Perioden pendelnd schwankende Ungleichheiten der Bewegung eintreten, die also auch dann nicht bis ins Unendliche wachsen können. Die Stabilität des Planetensystems ist danach also für unendlich lange Zeiten gesichert, solange keine anderen Einflüsse als das Gesetz der Anziehung ihrer eigenen Massen darauf wirken. Der Satz, daß aus den Gebieten, wo kommensurable Umlaufszeiten vorliegen würden, durch das Gravitationsgesetz die betreffenden Körper aus diesen Bahnen herausgezogen werden, ist nach dieser neuen Theorie deshalb nicht mehr absolut gültig. Trotzdem aber sehen wir diese Lücken wirklich im Ringe der kleinen Planeten und im Saturnringe. Doch sind diese in der Tat nicht völlig leer. Die Trennungen der Saturnringe sind keineswegs ebenso dunkel wie der Himmelsgrund, und sehr nahe in dem Abstande, der einem halben Umlauf des Jupiter entspricht, bewegt sich der kleine Planet Hekuba, der zu seinem Umlauf 2101 Tage gebraucht, während die halbe Umlaufszeit des Jupiter 2162 Tage beträgt. Dadurch entstehen große Störungen ihrer Bahn, die in eine etwa 400jährige Periode eingeschlossen sind, während der die Exzentrizität ihrer Bahn zwischen 0,066 und 0,15 schwankt, und selbst die mittlere Entfernung von der Sonne kann gegen 5 Millionen km auf und ab gehen. Wir sehen also, daß solche Weltkörper mit kommensurabeln Umlaufszeiten wegen dieser beständigen großen Störungen sich sehr weit von jenen kritischen Abständen entfernen können, weshalb an sich schon diese letzteren leerer erscheinen müssen als da, wo solche Störungen nicht stattfinden. Außerdem sind solche Körper in einem Ringe viel leichter Kollisionen ausgesetzt, weil ihre stark veränderlichen Bahnen die der anderen viel häufiger schneiden. Bereits durch besonders große Annäherungen an andere Körper können sie dann dauernd aus ihren Bahnen gerissen werden. Kurz, diese Körper sind unbeständiger als andere, bei denen solch ein Verhältnis der Umlaufszeiten mit einem größeren Mitgliede desselben Systems nicht vorhanden ist.

Durch eine solche gegenseitige Beeinflussung ihrer Bewegungen kommen auch eigentümliche Verhältnisse der Umlaufserscheinungen der Jupiter- und Saturnmonde zustande. Addiert man z. B. zur verdoppelten „mittleren Länge" (s. S. 432) des dritten Jupitermondes für einen beliebigen Augenblick die mittlere Länge des ersten, so kommt genau die dreifache mittlere Länge des zweiten Mondes heraus, wenn man noch 180 Grad hinzuzählt. Hieraus folgt, daß diese drei Monde niemals auf derselben Seite des Jupiter stehen können; sie halten sich gewissermaßen in dem System das Gleichgewicht.

Ähnliche Beziehungen finden zwischen einigen Saturnsatelliten statt. So fand d'Arrest, daß die gegenseitigen Stellungen der innersten Monde Mimas, Enceladus, Tethys und

Dione jedesmal nach $465^3/_4$ Tagen wieder dieselben sind. Mimas und Tethys haben fast genau kommensurable Umlaufszeiten. Zwei Umläufe des ersteren Mondes sind gleich einem des anderen: $2 \times 22{,}6 = 45{,}2$ Stunden, gegen 45,3 Stunden des wirklichen Umlaufs. Die Monde erhalten dadurch eine Ungleichheit ihrer Bewegung, die sie in 70,6 Jahren um 97° von ihrer normalen Stellung nach beiden Seiten entfernt. Diese „Libration" der mittleren Länge ist von H. Struve, dem eifrigsten Bearbeiter der verwickelten Verhältnisse des Saturnsystems, entdeckt worden.

Ganz andere Verhältnisse als bei den Planeten liegen für die Störungsrechnungen bei den Kometen vor. Wir wissen, daß diese Himmelskörper aus allen Gegenden des Weltgebäudes in den Planetenraum eindringen, daß also keinerlei Gesetz sie vor beliebiger Annäherung an einen permanenten Körper unseres Systemes schützt; die Störungswerte können hier mithin jede Größe annehmen. Wir haben bereits in dem Kapitel über die Kometen gesehen, daß einige derselben sich z. B. dem Jupiter so sehr näherten, daß dessen Anziehungskraft ihre Bahn völlig veränderte. Der Komet Lexell (s. S. 223) ging mitten durch das System der Jupitermonde, wurde dadurch in eine enge Ellipse gezwungen, die später durch ein nochmaliges Zusammentreffen mit ihnen abermals wesentlich verändert wurde. Alle 18 gegenwärtig bekannten periodischen Kometen verdanken ihre verhältnismäßig kleinen Ellipsen den besonders starken Störungen, denen sie bei ihrer Annäherung an einen Planeten unterworfen wurden, und wir können in den meisten Fällen zurückrechnend nicht nur den störenden Planeten, sondern auch den Ort, wo die Störung stattfand, und die Zeit der Annäherung angeben. Der Umstand, daß diese periodischen Kometen alle nur verhältnismäßig geringe Neigungen gegen die Ekliptik haben und, mit der alleinigen Ausnahme des Halleyschen Kometen, rechtläufig sind, liegt in diesen Beziehungen zu den Planeten begründet. Namentlich zeigt die Störungstheorie, daß rückläufige Körper in irgendeinem Systeme auf die Dauer unmöglich sind, da sich für solche die Störungen unter allen Umständen summieren, auch wenn keine „kommensurablen" Umlaufszeiten vorliegen. Es ist also kein Zufall, daß sämtliche Planeten in derselben Richtung um die Sonne laufen, sondern eine durch das Newtonsche Prinzip gegebene Notwendigkeit. Die rückläufigen Kometen bewegen sich alle in nahezu parabolischen Bahnen, in denen sie jedenfalls erst nach Ablauf von vielen Jahrtausenden je einmal zur Sonne wieder zurückkehren. Die Störungen, die sie während der sehr kurzen Zeit ihrer Sonnennähe erleiden, verändern ihre Bahn jedesmal nur unbedeutend.

Während die Störungen die ursprünglich parabolischen Geschwindigkeiten einiger Kometen in elliptische zu verwandeln vermochten, so daß die betreffenden Körper, die in unserem System ansässig werden, nun unser besonderes Interesse in Anspruch nehmen, können sie gegebenenfalls selbstverständlich auch im umgekehrten Sinne wirken, indem sie die ursprünglichen Parabeln in Hyperbeln verwandeln; dadurch werden diese Körper dann für alle Zeiten aus dem Sonnensystem geworfen. Geht z. B. ein Komet sehr nahe am Jupiter, aber doch etwas jenseits der Sonne vorüber, während er sich dieser nähert, so addiert sich die Anziehungskraft des Jupiter zu der der Sonne, der Komet wird beschleunigt, aus der parabolischen wird eine hyperbolische Geschwindigkeit. Findet der Vorübergang aber zwischen Sonne und Jupiter statt, so vermindert der letztere die Geschwindigkeit des Kometen gegen die Sonne, und aus der parabolischen wird eine elliptische Bewegung. Die wenigen uns bekannten hyperbolischen Kometen haben übrigens diese Geschwindigkeiten niemals

durch eine ähnliche besondere Einwirkung erhalten, da ihre Bahnen sich keiner Planetenbahn genügend näherten, um auf solche Störungen schließen zu lassen. Unsere Überzeugung, daß diese wenigen Kometen ebenso wie die Meteore mit hyperbolischen Bahnen von auswärts in den Bereich der Sonnenanziehung gekommen sind, bleibt also gleichwohl bestehen, soweit nicht die Einschränkung stattfindet, von der wir soeben sprachen. Denn auch bei den Meteoren kann der Fall eintreten, daß sich für sie die Anziehungskraft der Erde zu der der Sonne derart summiert, daß sie in schwach hyperbolische Bahnen gezwungen werden.

Um alle Folgerungen des Anziehungsgesetzes aus den Bewegungen der Himmelskörper zu ziehen, hätten wir noch zu fragen, welche Wirkungen die Kometen ihrerseits bei ihrer so großen Annäherung auf die Planeten oder ihre Monde ausüben, denn wir wissen, daß diese Anziehungskraft immer gegenseitig wirkt. Aber schon im Kapitel über die Kometen haben wir angeführt, daß von solcher Wirkung der Kometen auf permanente Körper des Sonnensystemes nichts zu bemerken ist, wie sehr sie sich ihnen auch genähert haben mögen. Wir können also den Rückschluß machen, daß die Masse der Kometen, der diese Wirkung proportional ist, trotz der riesigen Dimensionen des Raumes, den sie erfüllt, ungemein gering sein muß.

Wir dürfen aber die Kometen nicht als die einzigen Körper bezeichnen, die von außen her in das Sonnensystem eindringen können. Schon bei unseren Beschreibungen der hauptsächlichsten Gestaltungen der Nebel sahen wir, daß die Eigentümlichkeiten einiger derselben kaum anders als durch das Eindringen einer fremden Masse in den Nebel zu erklären sind. Auch im Kapitel über die neuen Sterne blieb uns zur Erklärung gewisser Erscheinungen nur diese Annahme des plötzlichen Eindringens eines Fremdkörpers übrig. Wir werden bald sehen, daß alle sogenannten Fixsterne Eigenbewegungen ausführen, die durchaus geeignet sind, einen solchen Stern gelegentlich, wenn auch gewiß verhältnismäßig selten, so sehr in die Nähe eines anderen zu bringen, daß er auf die den letzteren umgebenden sekundären Weltkörper einen die Stetigkeit des Systemes störenden Einfluß üben könnte. W. Ebert hat die Frage theoretisch untersucht, was geschehen müsse, wenn eine andere Sonne in den Bereich unseres Planetensystemes eindringen würde. Wie vorauszusehen war, stellen sich die Ergebnisse dieser Untersuchung so, daß die Planeten sich einem so gewaltigen Eindringling gegenüber nicht anders verhalten als die Kometen den Planeten gegenüber: unter gewissen Entfernungsverhältnissen würde ein Planet durch die Anziehungskraft der eindringenden Sonne ganz aus dem Verbande des Systems gerissen werden, so daß er in einer hyperbolischen Bahn in den leeren Raum hinaus eilte, weder der einen noch der anderen Sonne fernerhin folgend. Dies wäre gleichbedeutend mit dem Untergang alles Organischen auf diesem Planeten. Unter anderen Lageverhältnissen würde dagegen die vorher nahezu kreisförmige Bahn eines Planeten zu einer unter Umständen sehr exzentrischen Ellipse umgewandelt werden. Es ist nicht unmöglich, daß gewisse sehr exzentrische Doppelsternbahnen auf diese Art entstanden sind. Ist indes die Eigenbewegung der eindringenden Sonne so groß, wie sie im allgemeinen beobachtet wird, so ist die entsprechende Störungswirkung gleichfalls schnell vorübergehend und die Wirkungssphäre ziemlich eng begrenzt. Bei dem von Ebert ins Auge gefaßten Falle, für den ein Planet in der Sonnenentfernung 1,20 völlig aus dem System gerissen würde, bewirken die Störungen auf einen anderen Planeten in der Entfernung 0,72 doch nur eine

Vergrößerung der Umlaufszeit von 223 auf 230 Tage und verwandeln die Kreisbahn in eine Ellipse von 0,183 Exzentrizität.

Das Herannahen einer solchen Katastrophe des Eindringens einer zweiten Sonne in unser System würde sich übrigens der heutigen astronomischen Meßkunst zweifellos Jahrtausende im voraus ankündigen, auch wenn jene Sonne zu den erloschenen gehören würde. Denn die säkularen Störungen der Planetenbahnen müßten sich durch den dauernden Einfluß des wenn auch noch ziemlich fernen herannahenden Fremdkörpers in verräterischer Weise verändern. Es wäre eine lohnende Aufgabe der Theorie, die Konsequenzen der Newtonschen Lehre auch nach dieser Seite hin zu ziehen, was bisher noch nicht geschehen ist.

Wohl die glänzendste Bestätigung fand das Gravitationsgesetz durch die *theoretische Entdeckung* des äußersten Planeten unseres Systemes, *Neptun*. Bekanntlich wurde die Existenz dieses Planeten aus der Unmöglichkeit geschlossen, die Bewegungen seines diesseitigen Nachbarn aus der Anziehung der Sonne und der übrigen bekannten Planeten allein zu erklären; es war also die Abweichung einer Bewegung vom Newtonschen Prinzip, die zu einem Triumphe für dasselbe wurde. Uranus, jener widerspenstige Planet, ist, wie wir wissen, erst 1781 von Herschel entdeckt worden. Man hatte seine Bewegung inzwischen auf das genaueste verfolgt, hatte sich aber außerstande gesehen, die früheren Beobachtungsreihen mit neueren in eine Ellipse zu bringen, die sich nur unter dem Einfluß der Störungen diesseits gelegener Planeten verändert. Diese Abweichungen waren 1830 bereits auf 15—20″ gestiegen, und man hatte daraufhin die Vermutung ausgesprochen, daß diese Differenzen zwischen Rechnung und Beobachtung von einem jenseits befindlichen Gestirne herrühren möchten. 1840 war diese Vermutung in Bessel bereits zur Gewißheit geworden. Prophetischen Geistes schrieb er damals an Alexander v. Humboldt, daß eine Zeit kommen werde, in der die Auflösung des Rätsels des Uranus in einem neuen Planeten gefunden werden würde. Einige Jahre später schrieb Mädler in seiner populären Astronomie: „Wenn man sehr genaue Saturnbeobachtungen aus einer langen Reihe von Jahren besessen hätte, so würde es möglich gewesen sein, durch analytische Kombinationen den Uranus theoretisch zu entdecken, bevor ihn Herschel aufgefunden hatte. Es liegt nun nahe, diesen Schluß von Saturn auf Uranus um ein Glied weiter zu übertragen und auf einen jenseits des Uranus laufenden und diesen störenden Planeten zu schließen. Ja, man darf die Hoffnung aussprechen, daß die Analysis einst diesen höchsten ihrer Triumphe feiern und durch ihr geistiges Auge Entdeckungen in Regionen machen werde, in die das körperliche bis dahin einzudringen nicht vermochte."

Die Entdeckung des neuen Planeten lag also gewissermaßen in der Luft. Wir können uns deshalb nicht darüber wundern, daß um die Mitte der vierziger Jahre des vorigen Jahrhunderts zwei Theoretiker zugleich und unabhängig voneinander an die schwierige Aufgabe gingen, aus den immerhin sehr geringen praktisch gefundenen Störungswerten auf die Elemente und den Ort des störenden Körpers zu schließen. Es waren dies Adams in Cambridge (England) und Leverrier in Paris. Aus dem Vorangehenden ist es leicht zu verstehen, daß jene Differenzen **B—R** (s. S. 600) ohne besondere Annahme durch eine unendliche Menge von Elementensystemen zu erklären sind, da der Störungsfaktor $m : \varrho^2$ einen bestimmten Wert für ein beliebiges m immer haben kann, wenn man danach ϱ entsprechend wählt, oder umgekehrt; mit anderen Worten, der störende Körper konnte entweder in sehr

großer Entfernung und dabei von großer Masse, oder auch in größerer Nähe bei entsprechend kleinerer Masse angenommen werden. Über eine dieser beiden Größen mußte also notwendigerweise eine willkürliche Annahme gemacht werden. Zu dieser leitete unmittelbar das sogenannte Bode-Titiussche Gesetz von den mittleren Entfernungen der Planeten, das wir bereits bei Gelegenheit der Asteroiden erwähnten. Dieses Gesetz wird von den Abständen der bis dahin bekannten Planeten merkwürdig gut erfüllt, obgleich für dasselbe keinerlei Notwendigkeit des Bestehens aus bekannten Naturgesetzen herzuleiten ist. Es ergab für den gesuchten unbekannten Planeten die Entfernung $0{,}4 + 2^7 \times 0{,}3 = 38{,}8$ Einheiten der Sonnenentfernung. Leverrier führte indes in seine Rechnungen nur 36 dieser Einheiten als mittlere Entfernung des neuen Planeten ein. Nachdem die bekannten Störungsformeln für die ganz neuartige Aufgabe entsprechend umgeformt waren, bildete Leverrier aus mehr als 300 Abweichungen der beobachteten von den berechneten Uranusorten 33 Bedingungsgleichungen, aus denen er die Elemente der unbekannten Planetenbahn nach der Methode der kleinsten Quadrate ableitete. Er hatte es dabei statt mit sechs nur mit vier Unbekannten zu tun. Einerseits hatte er nämlich die Neigung der Bahn des neuen Planeten, die jedenfalls wie die aller übrigen sehr gering sein mußte, gänzlich vernachlässigt; es blieben also von den gewöhnlich gesuchten Bahnelementen nur noch drei, die Länge des Perihels, die Perihelzeit und die Exzentrizität der Bahn übrig. Anderseits mußte er die Masse des Planeten hier als Unbekannte einführen, die sonst bei Ableitung eines Elementensystems zunächst vernachlässigt werden kann. Er fand die letztere 9322mal geringer als die Sonnenmasse. Unter der Annahme, daß die Dichtigkeit des gesuchten Planeten der des Uranus gleich sei, konnte er auch sein Volumen leicht finden (s. S. 590) und folglich auch, welchen scheinbaren Durchmesser der Planet, von uns aus gesehen, haben müsse. Er gab dafür 3,3″ an, wonach das Gestirn die Helligkeit eines Sternes 8.—9. Größe besitzen mußte.

Durch die Annahme der Einwirkung dieses neuen Planeten auf die Bewegung des Uranus verschwanden die früher vorhandenen Differenzen mit der Rechnung bis auf unregelmäßig verteilte Fehler von höchstens 3″. Da alle entsprechenden Elemente vorlagen, konnte nun auch Leverrier den Ort des noch unbekannten Körpers am Himmel für einen beliebigen Moment vorhersagen.

In ganz ähnlicher Weise verfuhr Adams. Er nahm für die Entfernung 38 Sonnenweiten an und erhielt dementsprechend etwas andere Elemente als Leverrier. Die übrigbleibenden Fehler waren bei Adams noch etwas geringer als bei der Rechnung des französischen Gelehrten.

Beide Forscher waren selbstverständlich begierig, zu erfahren, ob der vermutete Körper auch wirklich in der von ihnen gefundenen Richtung zu entdecken sei. Dies war nicht unmittelbar festzustellen. Obgleich der Körper, wenn er die vermutete Helligkeit wirklich besaß, für jedes Fernrohr von mittlerer Kraft erreichbar sein mußte, war er doch darin zunächst nicht von einem anderen Fixstern zu unterscheiden, da seine planetarische Scheibe jedenfalls sehr klein sein mußte. Fixsterne 9. Größe gibt es aber eine so große Menge am Himmel, daß bis dahin bei weitem nicht alle katalogisiert oder in Sternkarten aufgezeichnet worden waren, und man also einen in die betreffende Gegend nicht gehörigen Stern von den übrigen nicht anders unterscheiden konnte, als indem man seine planetarische Bewegung erkannte; diese aber war für den so fernstehenden Körper überaus gering.

Adams hatte sich wegen der Auffindung des neuen Körpers an Challis, den Direktor

der Cambridger Sternwarte, gewendet, und dieser hatte in der Tat die betreffende Gegend am 4. und 12. August 1846 im Meridiankreis aufgenommen. Um nun zu erfahren, ob der Planet sich unter diesen Beobachtungen befindet, mußten aus denselben die Rektaszensionen und Deklinationen sämtlicher Sterne für beide Beobachtungstage berechnet werden; hatte einer davon in der Zwischenzeit seinen Ort in entsprechender Weise verändert, so mußte es der Planet sein. Challis unterließ es, die betreffenden Rechnungen sofort auszuführen. Inzwischen hatte sich Leverrier an Encke, dem damaligen Direktor der Berliner Sternwarte, mit der Bitte gewendet, an der in Frage kommenden Stelle den Himmel mit einer neuen in Berlin angefertigten und noch nicht herausgegebenen Sternkarte dieser Gegend zu vergleichen, um zu sehen, ob hier inzwischen der vermutete Körper hinzugetreten sei. Noch in der Nacht desselben Tages, an dem das betreffende Schreiben von Leverrier einlief, am 23. September 1846, sah Galle, damals Assistent der Berliner Sternwarte, den gesuchten Körper weniger als einen Grad von dem durch die Rechnung gefundenen Orte entfernt. In den folgenden Nächten konnte dann seine Bewegung ermittelt werden, wonach es keinem Zweifel mehr unterlag, daß es der gesuchte Körper sei.

Sobald die Kunde dieser einzig in der Geschichte der Astronomie dastehenden Entdeckung auch nach England drang, machte sich Challis an die Reduktion seiner Beobachtungen und erkannte mit jedenfalls nicht geringem Schmerz, daß er jenen Körper sowohl am 4. als am 12. August, also 1½ Monat vor Galle, unbewußt gesehen hatte, und es nur an seiner Versäumnis lag, daß der Ruhm, der mit dieser Entdeckung verknüpft bleibt, in weit höherem Maße Leverrier zufließen mußte als seinem Landsmann Adams, dessen Rechnungen doch etwas früher beendet gewesen waren als die des Franzosen und den Ort des Planeten sogar ein wenig besser mit der Wahrheit übereinstimmend ergeben hatten. Es ist deshalb ungerecht, wenn man, wie es seinerzeit namentlich von französischer Seite versucht worden ist, wegen dieses unglücklichen Zufalles das Verdienst Adams' an der Entdeckung des Neptun völlig verneinen oder in den Schatten stellen will.

Die Bahnbestimmung des neuen Planeten nach seiner Entdeckung ergab übrigens eine ganz wesentlich kleinere Halbachse, als beide Rechner angenommen hatten: nur 30 Sonnenweiten statt 36, bezw. 38. Neptun weicht also sehr bedeutend von der Bode-Titiusschen Regel ab, die von den mittleren Entfernungen der übrigen Planeten nahezu erfüllt wird. Infolge jener falschen Annahme über die gegenseitige Entfernung des störenden vom gestörten Planeten mußten auch die übrigen durch die Rechnung erhaltenen Elemente der Bahn fehlerhaft werden. Der Zufall hat bei dieser Entdeckung deshalb eine nicht unwesentliche Rolle gespielt. Trotz alledem aber dürfen wir den beiden Denkern, die das schwierige Problem jedenfalls theoretisch richtig löstten, unsere Bewunderung nicht versagen.

Die wahre Umlaufszeit des Neptun beträgt 163,7 Jahre; der neue Planet hat also seit seiner Entdeckung etwa den dritten Teil seiner Bahn durchlaufen. Uranus ist inzwischen längst aus seiner Nähe gerückt und zeigt seither keinerlei Abweichungen von der Theorie, die nicht durch das Gravitationsgesetz zu erklären sind. Die Wirkungen der Neptunsmasse auf ihn konnten also richtig bemessen werden, und es hat sich daran nichts Wesentliches zu korrigieren gefunden, seit man diese Masse nach der Entdeckung eines Neptunmondes besser bestimmen konnte als eben durch die Wirkungen auf Uranus. Die Bewegung des Neptun selbst scheint bisher dem Gravitationsgesetz ohne weitere Annahme zu genügen. Daraus indes zu schließen, daß nicht doch noch ein transneptunischer Planet vorhanden ist,

wäre voreilig, ehe man den neuen Planeten nicht einen vollen Umkreis vollenden sah, da ein solcher äußerster Planet unseres Systems ja sehr wohl in einer Richtung sich befinden kann, in welcher er erst in kommender Zeit zur Konjunktion mit Neptun gelangt, wobei sich dann störende Wirkungen zu merklichen Beträgen summieren können.

Von ganz anderer Seite her hat man indes Andeutungen des Vorhandenseins eines solchen transneptunischen Planeten: eine Anzahl von Kometenbahnen, die eine deutliche Elliptizität zeigten, wenngleich die betreffenden Körper nur einmal nach unserer Kenntnis ihre Sonnennähe erreichten, haben derartige Eigenschaften, daß man annehmen kann, ihre Elliptizität sei durch die Störung eines Planeten hervorgerufen, der nach Grigull in Münster etwa 50 Sonnenweiten vom Mittelpunkte des Systems umläuft, also in 360 Jahren, und der sich gegenwärtig in einer ekliptikalen Länge von etwa 358° befinden müßte. Auch Forbes hat ähnliche Untersuchungen angestellt und Roberts, von der Kap-Sternwarte, hat an der betreffenden Stelle photographisch nach dem problematischen Planeten gesucht, doch ohne Erfolg.

Die Entdeckung Neptuns bildete das erste Objekt der Astronomie des Unsichtbaren, die seither auf vielen anderen Gebieten der Himmelsforschung überraschende Triumphe gefeiert hat. Leverrier selbst machte den Versuch, diesem interessanten Kapitel aus der Geschichte des menschlichen Denkvermögens noch ein weiteres Objekt hinzuzufügen, indem er aus dem Gewirr von Zahlen, die wir mit B—R bezeichnet haben, an seinem Schreibtisch einen intramerkuriellen Planeten zu entdecken suchte: sonst war innerhalb des ganzen Planetensystemes keine Lücke mehr frei. Hier aber, der Sonne noch näher als der nächste unter den bisher bekannten Planeten, konnte noch ein kleinerer Körper oder selbst deren mehrere existieren, die sich in den Strahlen der Sonne für uns beständig verbergen, wie es selbst Merkur während eines großen Teiles seines Umlaufes tut. Ein solcher Planet konnte sich dagegen durch seine Gravitationswirkung dennoch verraten; Spuren von ihm schienen sich in der Tat früher einmal in Vorübergängen problematischer dunkler Körper vor der Sonnenscheibe gezeigt zu haben. Wir wissen bereits, daß Merkur und Venus bei ihrem Vorübergang vor der Sonne sich als kleine dunkle Scheiben darstellen, die sich viel schneller bewegen als die ebenfalls dunkeln Sonnenflecke, die erst in 14 Tagen von einem Rande der Sonne zum anderen gelangen, während die Planetendurchgänge sich in wenigen Stunden vollziehen. Auch im schlechtesten Fernrohr oder mit bloßem Auge würde also eine Verwechselung beider Phänomene nicht möglich sein. Nun hatten einige Beobachter gelegentlich ein schwarzes Pünktchen, wie sie als Sonnenflecke sehr häufig sind, mit planetarischer Geschwindigkeit vor der Sonne vorüberziehen zu sehen geglaubt. Die Fälle waren immerhin sehr selten und nicht von unzweifelhafter Natur. Es mag hier gleich eingeschaltet werden, daß, selbst wenn man solche Vorübergänge beobachten würde, sie deshalb keineswegs die Anwesenheit eines intramerkuriellen Planeten beweisen müßten: auch ziemlich große Meteore, die ganz gewiß im Planetenraum millionenweise vorkommen, können diese Erscheinung hervorbringen. Analoge Fälle von dunkeln Körpern, die vor dem Monde vorüberziehen, sind namentlich in neuerer Zeit nicht selten beobachtet worden; sie zeigen, daß jedenfalls viel größere Meteore außerhalb der Atmosphäre vorkommen, als jemals durch ihr Aufleuchten beim Eindringen in dieselbe uns bekannt geworden sind.

Die Bewegung des Merkur zeigte nun aber, wie wir schon wissen, Abweichungen von der Theorie, die möglicherweise durch das Vorhandensein eines solchen intramerkuriellen



Planeten erklärt werden konnten. Zu diesem Zwecke mußte jedoch die gesamte Theorie der Bewegungen mindestens der vier inneren Planeten genau untersucht werden, weil auch eine etwas falsche Annahme über die Massen von Merkur und Venus die Abweichungen hervorgerufen haben konnten. Leverrier legte, wenn auch nicht besonders zu diesem Zweck, genaue Planetentafeln an, welche die Bewegungen der Planeten Merkur, Venus, Erde, Mars, teilweise auch Jupiter und Saturn, mit Inbegriff ihrer gegenseitigen Einflüsse, tabellarisch zu ermitteln gestatteten. Es entstand so in jahrzehntelanger Arbeit ein Werk von epochemachender Bedeutung.

Nach dieser Neuordnung des Planetensystems, bei der auch sämtliche Planetenmassen neu bestimmt wurden, blieben nun immer noch unerklärte Abweichungen der Merkurbewegung übrig, die Leverrier nur durch das Vorhandensein eines intramerkuriellen Planeten, dem er sogleich den Namen Vulkan beilegte, erklären zu können glaubte. Dieser Körper ist indes trotz eifrigen Suchens bis jetzt nicht aufgefunden worden. Daß Watson bei Gelegenheit einer Sonnenfinsternis zwei Körper gesehen zu haben glaubte, die als solche Planeten gelten konnten (Leverrier hatte die Möglichkeit eines ganzen Ringes solcher Körper um die Sonne ausgesprochen), ist schon früher erwähnt worden (s. S. 533), und wir hatten hinzugefügt, daß es sich hier wahrscheinlich um einen Irrtum handelte. Sowohl bei der totalen Sonnenfinsternis vom 17. Mai 1901 wie auch bei der vom 30. August 1905 ist mit besonderen Apparaten photographisch nach solchen Körpern gesucht worden, ohne daß eine Spur entdeckt worden wäre.

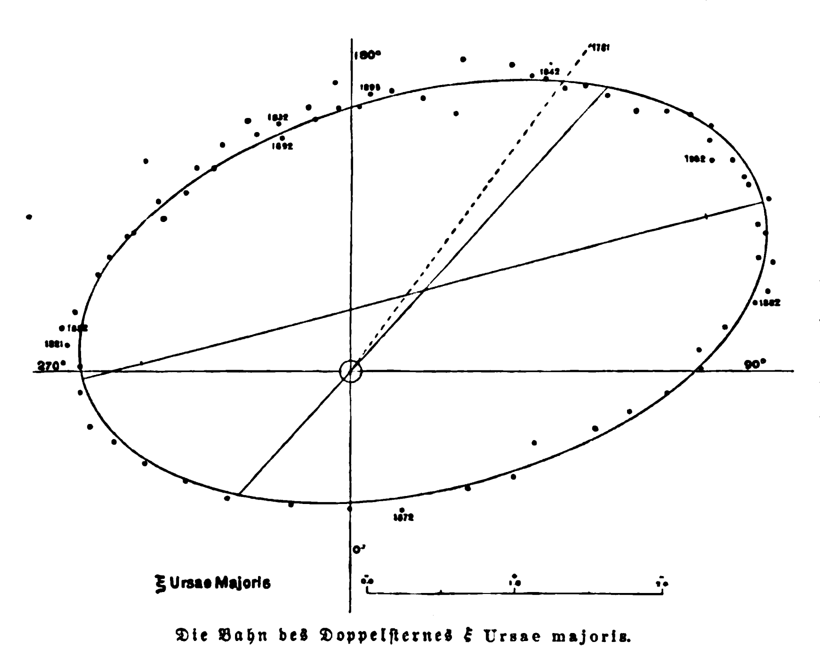
Wären die Rechnungen Leverriers in bezug auf diesen problematischen Planeten oder Planetenring in nächster Nähe der Sonne einwandfrei gewesen, so wäre die Nichtauffindung einer sichtbaren Spur davon kein Grund gewesen, an seiner Existenz zu zweifeln. In der Tat aber konnte der französische Gelehrte zu seiner Zeit noch keine genügende Anzahl sicherer Beobachtungen in die höchst verwickelte Rechnung einführen, um alle die mitwirkenden Quantitäten sicher genug abzuleiten. In neuerer Zeit hat der Amerikaner Newcomb sich noch einmal der Riesenarbeit unterzogen, die Elemente der vier inneren Planeten und ihre säkularen Änderungen aus den Beobachtungen von Grund aus zu bestimmen, zu welchem Ende er zugleich alle übrigen in die Rechnung einzuführenden astronomischen Konstanten, wie die Sonnenparallaxe, die Präzession, die Nutation, die Parallaxe des Mondes und seine Masse, welche auf die Bewegungen der Erde von Einfluß sind, die von uns noch zu besprechende Aberration des Lichtes, die Lichtzeit u. s. w. neu ableitete. Auch aus dieser bewundernswürdigen Arbeit ging hervor, daß die Perihelbewegung des Merkur immer noch eine Abweichung von der Theorie zeigte, die sich auf 40″ im Jahrhundert beläuft. Diese Abweichung war zweifellos reell, d. h. nicht durch eine Anhäufung von Beobachtungsfehlern zu erklären. Die Perihelbewegungen von Venus, Erde und Mars stimmen dagegen bis auf 8, 6 und 8″ im Jahrhundert mit der Theorie überein, Werte, die durch ihre wahrscheinlichen Fehler als innerhalb der Unsicherheit der Rechnung liegend bezeichnet werden können, mit einer Einschränkung der für Mars angegebenen Ziffer, die noch einmal so groß ist wie ihr wahrscheinlicher Fehler. Schon Seite 269 aber haben wir gesehen, wie es Seeliger gelang, alle diese Abweichungen mit der des Merkur aus der Anziehung des „Tierkreislichtkörpers“ zu erklären, der die Sonne linsenförmig umgibt.

Wir haben damit alle Bewegungen im Sonnensystem, mit Ausnahme der Mondakzeleration, genügend genau aus dem Gravitationsgesetz allein erklärt. Man hat die



Vermutung ausgesprochen, daß diese Abweichung der Mondbewegung gleichfalls von einem Staubringe herrühren könne, der die Erde umgibt. Gewisse sehr merkwürdige kleine periodische Bewegungen der Lotlinie, die man in Potsdam und Umgebung beobachtet hat, würden von solchen wechselnden Anziehungen eines „Erdringes" herrühren können.

Nachdem wir das Sonnensystem in so schönem Einklang mit dem Newtonschen Gesetz gefunden haben, muß es uns interessieren, zu erfahren, ob auch in den übrigen, unseren Blicken zugänglichen Teilen des Weltgebäudes Bestätigungen dieses Grundgesetzes aufzufinden sind. Wir haben bereits Gestirne dort kennen gelernt, die Umlaufsbewegungen umeinander ausführen. Selbstverständlich hat man diese Bewegungen auf das genaueste studiert; man führt Bahnbestimmungen der Doppelsterne aus, wie man Kometenbahnen berechnet. Aber die gegenseitigen Bewegungen dieser Gestirne erscheinen in der großen Entfernung für uns so gering, daß die unvermeidlichen Beobachtungsfehler in der Bestimmung der Bahnformen eine sehr bedeutende Rolle spielen. Man muß damit beginnen, die Beobachtungen graphisch auszugleichen, d. h. sie innerhalb eines bestimmten Koordinatensystemes aufzuzeichnen, und sie dann durch eine mittlere Kurve verbinden, wie wir es an dem obenstehend gezeichneten Beispiel sehen.



Die Bahn des Doppelsternes ξ Ursae majoris.

Es zeigt sich dann jedenfalls, daß die Bahn bei Systemen von nur zwei Sternen einer Ellipse sehr ähnlich ist, wenn man den einen der Sterne als ruhend annimmt. Aber der Stern befindet sich dann nicht, wie man etwa vermuten möchte, im Brennpunkte der scheinbar vom anderen beschriebenen Kurve, denn wir sehen in diesem Falle die wahre Bahnellipse unter einem Winkel, der für jedes dieser fernen Systeme willkürlich ist und erst bestimmt werden muß. Ein Kreis kann unter diesen Umständen bekanntlich als sehr flache Ellipse erscheinen. Befände sich das Zentralgestirn im Mittelpunkte eines solchen Kreises, so würde es auch im Mittelpunkte aller Ellipsen stehen, die infolge der Projektion unter den verschiedenen Sehwinkeln, unter denen man diesen Kreis erblicken kann, entstehen.

Hätten wir also eine Doppelsternbahn vor uns, die eine deutliche Ellipse ist, und fänden wir den Hauptstern in ihrem Mittelpunkte, nicht im Brennpunkte, so dürften wir

annehmen, daß die wahre Bahn des Nebensterns ein Kreis sei; in diesem Falle würde das Verhältnis der kleinen zur großen Achse der Ellipse unmittelbar den Winkel angeben, unter dem wir die Bahn erblicken. Man kann deshalb, wie leicht einzusehen, auch für den Fall, daß die wahre Bahn eine Ellipse ist, aus dem scheinbaren Abstande des Hauptsterns von dem Brennpunkte, beziehungsweise dem Mittelpunkte der scheinbaren Ellipse ihre wahre Form unter der Voraussetzung finden, daß der Hauptstern in Wahrheit sich im Brennpunkte der Ellipse befindet.

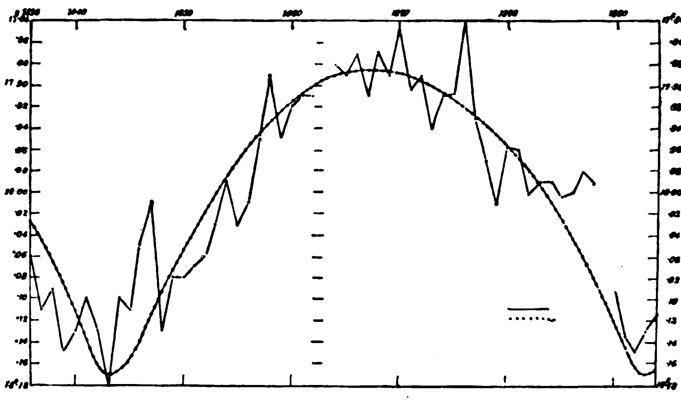
Nehmen wir die Gültigkeit der drei Keplerschen Gesetze auch für die Doppelsternsysteme von vornherein an, so hat es keine Schwierigkeiten, die wahren Bahnelemente ihrer Bewegungen zu finden. Anders aber verhält es sich, wenn wir uns die Frage stellen, ob diese Gesetze dort wirklich gelten; es ist dann durchaus kein vom Newtonschen Gesetz unabhängiges Argument zu finden, das uns ohne Voraussetzung über die wahre Form der Bahn den Projektionswinkel finden läßt, unter dem wir sie beobachten. Es gibt deshalb keine direkte Methode, den Beweis zu führen, daß die Bewegungen der Doppelsterne in Ellipsen geschehen, in deren einem Brennpunkt sich der Hauptstern befindet. Günstiger stehen die Dinge für das zweite Keplersche Gesetz von den gleichen Flächenräumen, die in gleichen Zeiten vom Radius-Vektor bestrichen werden; denn da die unter gleichem Projektionswinkel gesehenen Flächen sich immer wie die Flächen der wahren Bahn verhalten müssen, so muß das Flächengesetz auch für die scheinbaren Ellipsen der Doppelsterne unmittelbar gelten. Wir haben erfahren, daß das Flächengesetz leider keinen Schluß auf die Art der Zentralkraft erlaubt (s. S. 595). Das dritte Keplersche Gesetz aber kann nur an drei- und mehrfachen Sternsystemen geprüft werden, von denen es sehr wenige gibt, deren Bewegungen genauer untersucht werden konnten.

Das interessanteste dieser Systeme ist der mehrfache Stern ζ C a n c r i , der namentlich von Seeliger einer eingehenden Untersuchung unterzogen worden ist. Das Resultat war, daß die Sterne dieses Systems sich zwar im allgemeinen nach Maßgabe des dritten Keplerschen Gesetzes innerhalb der Grenzen der vorliegenden Beobachtungsunsicherheiten bewegen, daß aber einer der Nebensterne gewisse Abweichungen zeigt, die darauf hindeuten, daß sich in der Nähe dieses Sternes (C) noch ein unbekannter, vielleicht gänzlich dunkler Körper befindet, der ihn umkreist.

In anderen Fällen treten bei den mehrfachen Sternen für die Theorie Schwierigkeiten auf, die in der Unlösbarkeit des Dreikörperproblems begründet sind. In den vielfachen Sternsystemen sind die Massen oft in ganz anderer Weise verteilt als im Sonnensystem. Die Begleiter haben im Verhältnis zum Hauptstern eine viel größere Masse als die Planeten in bezug auf die Sonne, weshalb man mit den Annäherungsmethoden der Störungstheorie hier nicht mehr auskommt. Auf indirektem Wege sind indes auch in diesen Gebieten Kontrollen anzustellen, indem man die Frage aufwirft, ob unter der Voraussetzung der Gültigkeit des Gravitationsgesetzes die Beobachtungen mit der Rechnung in Einklang stehen. Dies hat in der Tat immer stattgefunden; ein Umstand, der aber um so weniger als zwingender Beweis gelten kann, als bereits sehr starke Abweichungen von jenem Gesetze stattfinden müßten, damit sie sich nicht mehr hinter den verhältnismäßig großen Beobachtungsfehlern verstecken könnten.

Zwei glänzende Bestätigungen, die mit der Entdeckung Neptuns vergleichbar sind, fand die Gravitationstheorie in fernen Fixsternräumen durch die Entdeckung der sogenannten

dunkeln Begleiter des Sirius und des Procyon. Diese beiden hellen Sterne zeigten eigentümliche schraubenförmige Bewegungen am Himmel, von denen die des Sirius auf S. 618 abgebildet ist. Wir werden in der Folge sehen, daß alle Fixsterne Eigenbewegungen ausführen, die sich sonst überall gleichförmig schnell und geradlinig fortschreitend erweisen. Nur bei den erwähnten beiden Sternen zeigte sich eine auffällige Abweichung, die Bessel zuerst entdeckte und sofort dahin deutete, daß sich neben jedem dieser Sterne ein dunkler Körper befinden müsse, der durch seine Anziehungskraft die auffällige Bewegung des hellen Körpers verursache: jene schraubenförmige Linie müsse so entstehen, daß der gemeinsame Schwerpunkt der beiden Körper gleichförmig schnell im Raume fortschreitet, während die Körper selbst um diesen Schwerpunkt kreisen. Im Jahre 1844 gab Bessel unter dieser Voraussetzung die Umlaufszeit des dunkeln Körpers bei Sirius zu etwa 50 Jahren an. 1862 gelang es dem amerikanischen Optiker Alvan Clark bei Gelegenheit der Prüfung eines 17zölligen Objektivs, das er für die Sternwarte zu Chicago zu liefern hatte, neben dem glänzendsten Sterne unseres Himmels ein kleines Lichtpünktchen 9. bis 10. Größe in etwa 10″ Abstand zu erblicken, das nach den Berechnungen von Auwers wirklich der gesuchte Körper war. Diese Rechnungen gaben dem neuentdeckten Begleiter, in sehr naher Übereinstimmung mit den Überschlagsbestimmungen Bessels, eine Umlaufszeit von 49½ Jahren. Unter Voraussetzung des Gravitationsgesetzes konnte die Masse des Sirius nicht viel mehr als noch einmal so groß sein als die seines Begleiters, obgleich der letztere mindestens 5000mal weniger Licht ausstrahlt. Der Begleiter bewegte sich in den folgenden Jahrzehnten in vorschriftsmäßiger Weise um den Hauptstern, wobei, wie vorausgesehen, seine scheinbare Entfernung von ihm zuerst noch ein wenig zu- und dann mehr und mehr abnahm. 1877 betrug die Distanz 11″, 10 Jahre darauf nur noch 6,8″; 1890 endlich verschwand der Begleiter selbst für die besten Fernrohre in den Strahlen des Sirius. Lohse in Potsdam berechnete die Bahn aus allen Beobachtungen von 1862 bis 1903 und fand die Umlaufszeit gleich 50,38 Jahren. Die Distanz wird nun bis 1912, wo der Doppelstern seit seiner Entdeckung einen vollen Umlauf vollendet haben wird, bis auf 9,7″ zunehmen.



Periodische Schwankungen der Eigenbewegung des Sirius, nach Greenwicher Beobachtungen in den Jahren 1836—1894. Vgl. Text, S. 617.

Auch für Procyon hatte Auwers aus der veränderlichen Eigenbewegung eine Bahn des Begleiters berechnet. Die Umlaufszeit betrug dabei 40 Jahre; aber es war bisher nicht geglückt, diesen Körper zu entdecken. Man glaubte es deshalb mit einem dunkeln Körper zu tun zu haben. Mit dem Riesenrefraktor der Lick-Sternwarte gelang es jedoch Schaeberle, am 14. November 1896 in nur 4,6″ Entfernung von Procyon ein winziges

Sternchen 13. Größe zu entdecken, dessen Richtung (Positionswinkel) derjenigen entsprach, die aus der Auwersschen Bahn für die Epoche der Entdeckung folgt. Es ist also auch in diesem Falle durch die praktische Auffindung gelungen, eine Vorhersage zu bestätigen, die unter der Voraussetzung der allgemeinen Gültigkeit des Gravitationsgesetzes in den Fixsternräumen gemacht worden ist.

Einen sehr eigentümlichen Beitrag kann in dieser Richtung auch die noch eingehender fortgesetzte Beobachtung des Lichtwechsels Algols und der Veränderlichen seiner Klasse (s. S. 393 u. f.) bieten. Die Periode der Verfinsterungen Algols ist gesetzmäßigen Schwankungen unterworfen, die Chandler dadurch erklärt, daß sich in seinem System noch ein dritter Körper befindet, der die Bewegungen der beiden anderen entsprechend stört. Diese Frage ist indes noch nicht abgeschlossen. Nach Bauschinger zeigen die Linienverschiebungen im Spektroskop keine so großen Schwankungen der Bewegung in der Gesichtslinie, wie sie aus dem Vorhandensein eines solchen dritten Körpers folgen müßten. Tisserand kam deshalb auf die Vermutung, Algol möge vielleicht keine Kugel, sondern ein stark abgeplatteter Körper sein, der dann ähnliche Einflüsse üben müßte. Aber auch diese Voraussetzung scheint keine genügende Übereinstimmung zwischen den Tatsachen der Beobachtung und der Theorie zu ermöglichen.

Es bleiben also hier und an manchen anderen Stellen der Fixsternwelt noch Fragen betreffs der Allgemeingültigkeit des Gravitationsgesetzes offen.

Gesagt kann nur werden, daß die Anforderungen dieses Gesetzes sowohl innerhalb unseres Sonnensystems als auch in den Räumen der Fixsternwelt mit so großer Annäherung erfüllt werden, daß nur in wenigen zweifelhaften Fällen die moderne Beobachtungskunst minimale Abweichungen vermuten läßt. Wir müssen dies um so mehr betonen, als wir, nach Kenntnisnahme einiger weiteren Erfahrungen über die Bewegungen der Himmelskörper, auf die begründeten Zweifel zurückkommen werden, die theoretischerseits gegen die absolute Gültigkeit jenes Prinzipes zu erheben sind.

Bahnelemente der hauptsächlichsten Körper unseres Planetensystems und einiger merkwürdiger Kometen.

Bahnelemente der großen Planeten.

Name	Masse		Dichtigkeit Erde = 1	Mittlere Geschwindigkeit in 1 Sek. km	Rotationsdauer oder Sterntag	Exzentrizität	Abplattung	Schwere, 1 Kilo wiegt kg	Zeit bis zur Ankunft des Sonnenlichtes	Neigung der Bahn gegen die Ekliptik	Umlaufszeit Tage
	Erde = 1	Sonne = 1									
Merkur	0,05	$\frac{1}{6\,000\,000}$	1,04	47,0	88 Tage?	0,2056	0	0,39	0^h 3^m	7° 0′ 10″	87,969258
Venus	0,81	$\frac{1}{408\,000}$	0,87	34,7	225 Tage?	0,0068	0	0,85	0 6	3 23 37	224,7008
Erde	1,00	$\frac{1}{329\,390}$	1,00	27,8	$23^h\,56^m\,04^s$	0,0168	$\frac{1}{299}$	1	0 8	0 0 0	365,2564
Mars	0,11	$\frac{1}{3\,093\,500}$	0,71	24,0	24 37 23	0,0933	0	0,38	0 13	1 51 1	686,9796
Jupiter	314,50	$\frac{1}{1047,366}$	0,23	13,0	9 50 —	0,0483	$\frac{1}{14}$	2,39	0 43	1 18 42	4332,5882
Saturn	94,07	$\frac{1}{3501,6}$	0,13	9,5	10 14 —	0,0561	$\frac{1}{10}$	1,06	1 19	2 29 39	10759,201
Uranus	14,40	$\frac{1}{22\,869}$	0,23	6,5	?	0,0470	?	0,93	2 38	0 46 22	30586,29
Neptun	17,05	$\frac{1}{19\,314}$	0,20	5,4	?	0,0085	?	0,85	4 8	1 46 45	60188,71
Sonne	329390	1	0,25	—	25-27 Tage	—	0	27,70	—	—	—

Bahnelemente der großen Planeten.

Namen	Mittlere Entfernung von der Sonne: Mill. km	Mittlere Entfernung von der Sonne: Astronomische Einheiten	Äquatordurchmesser aus der Sonnenentfernung gesehen	Äquatordurchmesser Erde = 1	Winkelgeschwindigkeit am Äquator in 1 Sek.	Mittlere tägliche Bewegung	Länge des Perihels	Länge des aufsteigenden Knotens	Mittlere Länge am 0. Jan. 1900 0h Berlin
Merkur	58	0,38710	6,6″	0,37	2 m	14732,42″	75° 53′ 59″	47° 8′ 45″	178° 1′ 36″
Venus	108	0,72333	17,1	0,97	2?	5767,67	130 9 50	75 46 47	342 42 27
Erde	149	1,00000	17,6	1	465	3548,19	101 13 15	0 0 0	99 39 36
Mars	228	1,52369	9,4	0,53	240	1886,52	334 13 7	48 47 9	293 43 41
Jupiter	778	5,20280	199,6	11,34	12460	299,13	11 54 27	98 55 58	159 56 13
Saturn	1426	9,53886	162,8	9,25	10140	120,46	90 6 40	112 20 51	14 49 35
Uranus	2869	19,19098	69,4	3,94	—	42,23	169 .2 56	73 29 25	243 21 43
Neptun	4495	30,07067	78,0	4,43	—	21,53	43 45 20	130 40 44	85 1 30
Sonne	—	—	31′ 59,3″	109,05	2005	—	—	—	—

Anmerkung. Für Jupiter und Saturn ist die Epoche, für welche die Elemente gelten, 1850,0. — Man pflegt die Epoche mit dem 0. Januar, also eigentlich 31. Dezember des Vorjahres, zu beginnen, damit die hinzugezählten Tage auch mit den Daten übereinstimmen.

Bahnelemente der vier ältesten kleinen Planeten.

Nr.	Namen	Größe m	Größte Entfernung (Erde = 1)	Kleinste Entfernung (Erde = 1)	Tägliche Bewegung	Umlaufszeit in Jahren	Exzentrizität	Halbe große Achse	Länge des Perihels	Länge des Knotens	Neigung	Mittlere Länge der Epoche	Epoche in mittlerer Pariser Zeit
1	Ceres	7,4	2,98	2,56	770,78′	4,61	0,076	2,767265	149°37′49″	80°46′39″	10°37′10″	103°25′ 3″	25,0 Dez. 1874
2	Pallas	8,0	3,43	2,11	768,39	4,61	0,237	2,772997	122 2 8	172 54 9	34 41 23	236 36 57	8,0 Juni 1895
3	Juno	8,7	3,35	1,98	814,08	4,36	0,258	2,668266	54 50 15	170 53 21	13 1 23	47 22 27	1,0 Nov. 1874
4	Vesta	6,5	2,57	2,15	977,67	3,63	0,088	2,361618	250 56 52	103 29 15	7 7 54	67 41 55	7,0 Dez. 1874

Elemente der Mondbewegung.

Siderische Umlaufszeit	27,32166 Tage	Mittlere Entfernung von der Erde in Erdäquatorhalbmessern	60,274
Tropische "	27,32158 "	Mittlere Entfernung von der Erde in Kilometern	384420
Synodische "	29,53059 "	Größte Entfernung von der Erde	405530
Anomalistische "	27,5546 "	Kleinste " " " "	363310
Drakonische "	27,2122 "	Durchmesser, mittlerer	31′ 5,8″
Umlaufszeit des Perigäums	3232,58 "	Durchmesser in Kilometern	3480
Umlaufszeit des Knotens	6793,39 "	Masse (Erde = 1)	0,0124
Mittlere tägliche Bewegung	13° 10′ 35″	Oberfläche (Erde = 1)	0,0758
Länge des aufsteigenden Knotens (für 1850,0)	146 13 40	Volumen (Erde = 1)	0,0202
Länge des Perigäums (für 1850,0)	99 51 52	Dichtigkeit (Erde = 1)	0,62
Neigung der Bahn (für 1850,0)	5 8 48		
Exzentrizität	0,054908		

Mars-Satelliten.

Äquinoktium der Epoche 1896 Dezember 0,0	Phobos	Deimos
Mittlere Länge	99° 50′	315° 22′
Länge des Knotens	48 5	47 18
Länge des Perihels	200 54	226 24
Neigung	37 29	38 0
Exzentrizität	0,0517	0,0019
Halbe große Achse	12,931″	32,412″
Halbe große Achse km	9380	29570
Siderische Umlaufszeit	0,3189	1,2624 Tage

Jupiter-Satelliten.

Mittleres Äquinoktium Epoche (Mittl. Par. Mittag):	V. der Epoche. 1892 Jan. 0,0	I. der Epoche. 1850 Jan. 0,0	II. der Epoche. 1850 Jan. 0,0	III. der Epoche. 1850 Jan. 0,0	IV. der Epoche. 1850 Jan. 0,0	VI.	VII.
Mittlere Länge	357° 4′	148° 43,9′	14° 20,1′	37° 7,5′	164° 13,0′	—	—
Länge des Knotens	342 1	335 45,0	336 55,3	341 30,4	344 56,8	180° 32′	—
Länge des Perihels	342 34	—	—	235 18,5	266 40,9	87 46	—
Neigung	2 20	2 8,0	1 39	1 59,9	1 57,0	28 45	—
Exzentrizität	0,00501	—	—	0,0013	0,0072	0,155	0,208
Halbe große Achse	2,55	5,933	9,439	15,057	26,486	158,38	165,1
Siderische Umlaufszeit	0,49818	1,76914	3,55118	7,15455	16,68902	250,62	259,7
Masse (Jupiter = 1)	—	0,00001688	0,00002323	0,00008844	0,00004248	—	—

Saturn-Satelliten.

Mittleres Äquinoktium Epoche (Mittl. Par. Zeit):	Mimas der Epoche. 1889 März 31,5	Enceladus der Epoche. 1889 März 31,5	Tethys der Epoche. 1889 März 31,5	Dione der Epoche. 1889 März 31,5	Rhea der Epoche. 1889 März 31,5
Mittlere Länge	85° 22′	198° 4′	284° 49′	252° 58′	357° 52′
Länge des Knotens	164 43	167 58	166 4	168 5	167 49
Länge des Perihels	301 10	139 58	—	356 48	—
Neigung	27 30	28 4	28 40	28 4	28 23
Exzentrizität	0,019	0,0046	—	0,0020	—
Halbe große Achse	3,07	3,94	4,87	6,25	8,73
Siderische Umlaufszeit	0,9424	1,3702	1,8878	2,7369	4,5175

Mittleres Äquinoktium Epoche (Mittl. Par. Zeit):	Titan der Epoche. 1890 Jan. 0,5	Themis	Hyperion der Epoche. 1890 Jan. 0,5	Japetus der Epoche. 1885 Sept. 1,5	Phoebe
Mittlere Länge	260° 18′	—	301° 12′	75° 25′	—
Länge des Knotens	168 18	—	169 28	142 12	—
Länge des Perihels	107 57	—	90 14	211 48	—
Neigung	27 40	—	27 15	18 28	—
Exzentrizität	0,0289	0,215	0,1291	0,0284	0,166
Halbe große Achse	20,22	24,16	24,49	58,91	214,2
Siderische Umlaufszeit	15,9455	20,85	21,2775	79,3308	550,4

Uranus-Satelliten.

	Mittleres Äquinoktium: 1850,0.		Epoche: 1871 Dezember 31,0.	
	Ariel	Umbriel	Titania	Oberon
Mittlere Länge	153° 2′	275° 41′	20° 26′	308° 21′
Länge des Knotens	167 20	164 6	165 32	165 17
Länge des Perihels	3 46	322 39	259 5	315 3
Neigung	97 58	98 21	97 47	97 54
Exzentrizität	0,020	0,010	0,0011	0,0038
Halbe große Achse	7,04	9,91	16,11	21,54
Siderische Umlaufszeit	2,5204	4,1442	8,7059	13,4633

Neptun-Satellit.

Mittleres Äquinoktium und Epoche: 1890 Januar 0,0		Mittleres Äquinoktium und Epoche: 1890 Januar 0,0	
Mittlere Länge	65° 9′	Exzentrizität	0,0070
Länge des Knotens	187 25	Halbe große Achse	14,73
Länge des Perihels	89 43	Siderische Umlaufszeit	5,8768
Neigung	142 40		

Elemente der periodischen Kometen.

Nr.	Name der Kometen	Umlaufszeit in Jahren	Epochen der Periheldurchgänge	Periheldistanzen	Apheldistanzen	Exzentrizitäten	Länge des Perihels	Länge des aufsteigenden Knotens	Neigung	Name der Berechner
1	Encke	3,304	1901 September 15	0,342	4,100	0,846	158° 48	334° 49	12° 54	Thonberg
2	Tempel	5,281	1899 Juli 29	1,389	4,68	0,542	306 34	120 57	12 39	Schulhof
3	Brorsen	5,456	1890 Februar 24	0,588	5,61	0,810	116 23	101 28	29 23	E. Lamp
4	Tempel-L. Swift	5,678	1903 Januar 24	1,152	5,21	0,638	43 48	290 12	5 26	Bossert
5	Winnecke	5,828	1904 Januar 21	0,923	5,55	0,715	274 20	104 13	17 0	Hillebrand
6	De Vico-E. Swift	6,400	1901 Februar 14	1,670	5,22	0,516	348 57	24 51	3 35	Seares
7	Tempel	6,538	1898 Oktober 4	2,091	4,90	0,402	241 16	72 36	10 47	Gautier
8	Finlay	6,556	1900 Februar 17	0,969	6,04	0,723	8 4	52 23	3 3	Schulhof
9	D'Arrest	6,686	1897 Juni 3	1,327	5,77	0,626	319 26	146 25	15 43	Leveau
10	Biela	6,692	1866 Januar 26	0,879	6,22	0,752	109 40	245 46	12 22	Clausen
11	Wolf	6,845	1898 Juli 5	1,603	5,61	0,555	19 22	206 29	25 12	Thraen
12	Holmes	6,874	1899 April 28	2,128	5,10	0,411	345 48	331 44	20 48	Zwiers
13	Brooks	7,101	1903 Dezember 6	1,959	5,43	0,470	1 42	18 4	6 4	Neugebauer
14	Faye	7,390	1903 Juni 4	1,650	5,94	0,565	45 27	206 28	10 38	Strömgren
15	Tuttle	13,667	1899 Mai 5	1,019	10,41	0,822	116 29	269 50	54 29	Rahts
16	Pons-Brooks . .	71,56	1884 Januar 26	0,776	33,70	0,955	93 17	254 6	74 3	Schulhof u. Bossert
17	Olbers	72,65	1887 Oktober 8	1,199	33,62	0,931	149 53	84 32	44 34	Ginzel
18	Halley	76,08	1910 Mai 16	0,687	35,22	0,962	305 38	57 11	162 13	Pontécoulant

Elemente großer und merkwürdiger Kometen.

Bezeichnung	Perihel-durchgang	Länge des Perihels	Länge des Knotens	Neigung	Perihel-distanz	Exzentri-zität
137 v. Chr.	April 29	302°	220°	20°	1,01	—
69 "	Juli	315	165	70	0,80	—
66 n. Chr.	Januar 14	325	32 40′	40 30′	0,4446	—
539 "	Oktober 20	313 30′	58	10	0,3412	—
837 "	März 1	289 3	206 33	10 bis 12°	0,58	—
1066 "	April 1	264 55	25 50	17	0,7195	—
1231 "	Januar 30	134 48	13 30	6 5′	0,9478	—
1299 "	März 31	3 20	107 8	68 57	0,3179	—
1301 "	Oktober 24	312 0	138 0	13 0	0,64	—
1337 "	Januar 15	2 20	93 1	40 28	0,8282	—
1532 "	Oktober 18	111 48	87 23	32 36	0,5192	—
1577 "	Oktober 26	120 42	25 20	75 10	0,1775	—
1664 "	Dezember 4	130 43	81 16	21 18	1,0255	—
1680 "	Dezember 17	262 19	272 30	59 35	0,0068	0,99998
1729 "	Juni 13	320 31	310 38	71 5	4,0435	1,0050
1744 "	März 1	197 14	45 48	47 8	0,2222	—
1770 "	August 14	356 16	132 0	1 35	0,6743	0,7868
1807 "	September 18	270 55	266 47	63 10	0,6462	0,9955
1811 "	September 12	75 1	140 25	73 2	1,0354	0,9951
1819 "	Juni 27	287 5	273 44	80 46	0,3410	1
1823 "	Dezember 9	274 33	303 4	76 12	1,2267	1
1825 "	Dezember 10	318 47	215 43	33 33	1,2408	0,9954
1843 "	Februar 27	278 39	1 12	35 41	0,0055	0,9999
1845 "	Juni 5	262 3	337 49	48 42	0,4016	0,9899
1858 "	September 29	36 13	165 19	63 1	0,5784	0,9962
1860 "	Juni 16	161 32	84 40	79 18	0,2929	1
1861 "	Juni 3	243 22	29 55	79 45	0,9207	0,9835
1861 "	Juni 11	249 4	278 58	85 26	0,8223	0,9853
1862 "	August 22	344 41	137 26	66 25	0,9626	0,9613
1865 "	Januar 14	141 15	253 3	87 32	0,0260	1
1867 "	Januar 19	75 52	78 35	18 13	1,5725	0,8490
1874 "	Juli 8	271 7	118 45	66 21	0,6758	0,9986
1880 "	Januar 27	73 34	355 54	36 58	0,0060	0,9995
1881 "	Juni 16	265 13	270 58	63 26	0,7345	0,9964
1881 "	August 22	219 13	97 7	39 44	0,6337	1
1882 "	September 17	55 37	346 1	48 0	0,0078	0,9999
1883 "	Februar 18	29 2	278 6	78 6	0,7602	—
1884 "	Januar 25	93 21	254 9	74 3	0,7757	0,9550
1888 "	März 17	245 18	245 23	42 15	0,6988	0,9958
1893 "	Juli 7	290 13	337 21	20 2	0,6745	0,9995
1895 "	Dezember 18	47 50	320 31	38 23	0,1920	1
1901 "	April 24	266 35	109 38	48 55	0,2448	1
1903 "	März 23	123 3	117 28	43 55	2,7777	1

Übersicht der neueren Bahnbestimmungen von Doppelsternen.

Nr.	Namen der Doppelsterne	Umlaufszeit in Jahren	Zeit des Periastrums	Exzentrizität	Halbe große Achse	Länge des Periastrums vom Knoten	Länge des Knotens	Neigung
1	δ Equulei . . .	5,70	1901,18	0,54	0,25″	181,0°	24,1°	± 74,5°
2	κ Pegasi	11 37	1897,37	0,40	0,29	106,1	109,2	77,5
3	ε Hydrae	15,70	1901,10	0,685	0,24	264,7	109,5	54,5
4	β 833	16,35	1890,42	0,48	0,24	155,0	69,7	28,5
5	ζ Sagittarii . . .	21,17	1900,37	0,185	0,565	1,4	75,5	69,4
6	9 Argus	23,3	1892,7	0,68	0,61	73,6	95,6	76,6
7	Ceti 82	24,00	1899,70	0,15	0,66	159,4	110,8	76,65
8	42 Comae . . .	25,56	1885,69	0,461	0,642	280,5	11,9	90,0
9	85 Pegasi . . .	25,70	1883,70	0,43	0,78	261,5	123,5	49,0
10	β Delphini . . .	27,66	1883,10	0,363	0,475	351,95	178,9	60,9
11	20 Persei	27,7	1883,8	0,475	0,237	85,5	132,4	73,6
12	Σ 3121	34,00	1878,30	0,33	0,669	127,52	28,52	75,0
13	ζ Herculis . . .	34,53	1898,42	0,457	1,355	112,58	54,06	47,82
14	η Coronae bor. .	41,51	1892,28	0,278	0,891	219,35	24,09	59,18
15	ξ Scorpii	44,5	1905,4	0,767	0,701	352,6	20,4	29,1
16	μ^1 Herculis BC. .	45,39	1880,14	0,214	1,369	181,98	62,11	67,01
17	β 416	45,90	1891,56	0,618	1,93	68,57	135,73	49,73
18	Σ 2173	46,0	1869,50	0,20	1,143	322,2	153,7	80,75
19	OΣ 269	48,4	1883,4	0,38	0,36	29,9	50,8	± 71,2
20	Sirius	48,84	1894,09	0,588	7,594	147,89	44,50	+ 46,08
21	OΣ 298	52,0	1883,0	0,581	0,799	26,1	1,9	± 60,9
22	γ Androm. BC. .	55,0	1892,0	0,82	0,346	201,2	113,5	76,6
23	τ Cygni	57,25	1890,25	0,370	1,16	121,8	161,4	55,6
24	ζ Cancri	59,11	1868,11	0,381	0,858	250,26	80,19	11,14
25	ξ Ursae maj. . .	60,0	1875,22	0,397	2,508	126,33	100,8	55,92
26	99 Herculis . . .	64,52	1884,00	0,811	1,282	120,1	28,47	52,97
27	OΣ 235	66,0	1906,72	0,50	0,83	131,0	85,3	45,6
28	γ Coronae bor. .	73,0	1841,0	0,482	0,736	97,95	110,7	82,63
29	OΣ 234	77,0	1880,10	0,302	0,347	206,6	157,5	50,6
30	OΣ 400	81,04	1888,23	0,46	0,47	7,0	157,1	59,9
31	α Centauri . . .	81,185	1875,715	0,529	17,71	52,02	25,10	79,36
32	γ Centauri . . .	88,0	1848,0	0 800	1,023	194,3	4,6	62,15
33	70 Ophiuchi . . .	88,395	1896,466	0,500	4,548	198,25	125,7	58,42
34	OΣ 387	90,0	1838,0	0,600	0,66	284,7	129,55	66,75
35	OΣ 285	97,93	1883,56	0,595	0 34	262,86	186,50	0,0
36	Φ Ursae maj. . .	99,70	1882,46	0,438	0,32	342,15	Unbest.	14,63
37	Σ 3062	104,61	1836,26	0,450	1,371	90,9	47,15	43,85
38	ω Leonis	116,20	1842,10	0,537	0,882	124,22	146,70	63,47
39	Σ 228	123,1	1905,19	0,309	0,899	4,87	90,68	66,00
40	ξ Bootis	148,46	1908,95	0,545	4,988	33,72	175,40	41,87
41	γ Coronae aus. .	152,7	1876,80	0,420	2,453	180,2	72,3	34,0
42	Σ 2	166,24	1890,87	0,40	0,55	316,1	154,9	70,2
43	o² Eridani	180,03	1843,18	0,134	4,791	319,54	150,82	63,25
44	25 Canum V. . .	184,0	1866,0	0,752	1,131	201,0	123,0	33,5
45	Σ 2107	186,21	1893,33	0,387	1,0	104,05	186,3	45,86
46	γ Virginis	194,0	1836,53	0,897	3,989	270,0	50,4	31,0
47	55 Tauri	200,0	1896,9	0,76	0,85	83,7	87,5	57,9
48	48 τ Ophiuchi . .	230,0	1815,0	0,592	1,25	18,05	76,4	57,6
49	Σ 1879	238,0	1868,3	0,700	1,06	151,40	74,10	57,6
50	μ^2 Bootis	275,73	1864,59	0,601	1,482	338,09	175,07	45,67
51	Σ 2525	306,7	1887,9	0,957	1,41	283,62	25,0	57,07
52	η Cassiopejae . .	327,87	1899,00	0,409	9,48	131,60	78,80	32,28
53	Castor	346,82	1869,82	0,441	5,756	277 57	33,93	± 63,62

Die Zahlen dieser Tabellen weichen zum Teil von denen im Text verwendeten ab. Es kam im Text weniger auf letzte Genauigkeit der Angaben als auf Klarheit und Einfachheit der Darstellung an. Hier in den Tabellen mußten die Werte nach einheitlich durchgeführten Untersuchungsreihen gegeben werden.

Die Elemente der großen Planeten sind nach Newcomb wiedergegeben, die des Erdmondes nach Hansen, die der alten Satelliten des Jupiter nach Damoiseau, des V. Jupitermondes nach Newcomb, des VI. und VII. nach Frank E. Roß, die der acht älteren Saturnmonde nach H. Struve, die der Themis und der Phoebe, noch sehr unsicher, nach W. Pickering, der Uranus-Trabanten nach Newcomb, des Neptunmondes nach H. Struve. Die Angaben für den VII. Jupitermond und die für Themis und Phoebe konnten bisher nur sehr unsicher ermittelt werden. Die halben großen Achsen der Satellitenbahnen, mit Ausnahme der des Mars, sind in Teilen des Äquatorhalbmessers ihrer Hauptplaneten, die siderischen Umlaufszeiten in Teilen eines mittleren Tages angegeben.

---

11. Die Aberration des Lichtes und die Parallaxen der Fixsterne.

Wir erkannten, daß es nach Auffindung des Newtonschen Prinzipes keines weiteren Beweises dafür bedurfte, daß die Erde sich um die Sonne bewegt. Nicht so standen die Dinge in der Zwischenzeit von Kopernikus bis Newton. Die erbitterten Kämpfe, die für das Kopernikanische System ausgefochten werden mußten, sind allgemein bekannt; Galileis Ausspruch „e pur si muove“ („Und sie bewegt sich doch“) ist durch die verflossenen Jahrhunderte ein Schlagwort geblieben. Galilei (s. Abbildung, S. 626) war der glühendste Kämpfer für die neue Lehre; zu glühend, zu rücksichtslos, müssen wir heute bei ruhiger Überlegung sagen, denn wir sind ziemlich sicher darüber, daß nur durch die rücksichtslose Schärfe, mit der Galilei gegen alle vorging, die seinen Ansichten entgegentraten, die unheilvollen Verwickelungen entstanden, die das Kopernikanische Werk auf den Index brachten, d. h. in jenes Verzeichnis von Werken, die vom Papst als verwerflich und gotteslästerlich gekennzeichnet werden. Kopernikus war Domherr des katholischen Stiftes Frauenburg und beim Papst Paul III. durchaus beliebt; letzterer hatte auch die Widmung seines berühmten Werkes „De revolutionibus orbium coelestium“ gern angenommen, doch erschien es erst kurz nach Kopernikus' Tode im Jahre 1543 im Druck. Auch der nachfolgende Papst, Gregor XIII., hatte nichts dagegen einzuwenden, daß für die Arbeiten der von ihm eingeleiteten Kalenderreform Tafeln benutzt wurden, die auf Grund des Kopernikanischen Systems berechnet waren. Galilei selbst war in seiner Blütezeit in Rom hoch geschätzt, und es scheint erst eine verhängnisvolle Wendung dort eingetreten zu sein, als er einen höchst erbitterten Prioritätsstreit mit dem Jesuitenpater Scheiner wegen der Entdeckung der Sonnenflecke eröffnete.

Die nun beginnende Verfolgung der Kopernikanischen Lehre, auf die der Papst selbst sich nur sehr ungern eingelassen zu haben scheint, zielte offenbar anfangs hauptsächlich auf ihren vornehmsten Verteidiger, Galilei, ab und ergriff erst viel später weitere Kreise. Übrigens waren es keineswegs nur die Katholiken, die sich an dieser Verfolgung beteiligten; es heißt, daß Luther von Kopernikus gesagt habe: „Der Narr will die ganze Kunst Astronomia umkehren, aber die Heilige Schrift sagt uns, daß Josua die Sonne stillstehen hieß und nicht die Erde“, und Melanchthon hielt jene Lehre für so gottlos, daß man ihre Unterdrückung als

eine Pflicht der Obrigkeit verlangen müsse. Muß man wohl den unglücklichen Galilei tief bedauern, der, ein siebzigjähriger gebrechlicher Greis, unter Androhung der Tortur (er hat sie nach allem, was ermittelt werden konnte, physisch nicht zu erdulden gehabt) eine Lehre öffentlich abschwören mußte, für deren Wahrheit er ein Leben hindurch gekämpft hatte, so hat doch anderseits ein unparteiisches Urteil auch anzuerkennen, daß ihm alle diese inneren Qualen sicher erspart worden wären, wenn er weniger schroff zugespitzte Mittel in dem ungleichen Kampfe angewandt hätte, und es ist mehr als wahrscheinlich, daß die Kopernikanische Lehre niemals ernstlich verfolgt worden wäre, wenn dieser ihr Verteidiger nicht für sie aufgetreten wäre. So aber kam es zu so scharfen Gegensätzen, daß die 1616 auf den Index gesetzte Schrift des Kopernikus erst 1835 mit den übrigen, die das neue Weltsystem verteidigten, wieder freigegeben wurde.


Galileo Galilei, geb. in Pisa 1564, gest. in Arcetri bei Florenz 1642. Nach einem Bild aus dem Jahre 1624. Vgl. Text, S. 625.

Inmitten dieser Kämpfe war es von äußerster Wichtigkeit, möglichst augenscheinliche Beweise für die neue Lehre herbeizuschaffen, und hier war es wieder Galilei, der am eifrigsten danach suchte. Sehr wirksam war in dieser Beziehung die Entdeckung der Jupitermonde, die ihm mit seinem selbstkonstruierten Fernrohr 1610 gelang. Man sah hier vier Sterne deutlich vor Augen, die sich um einen anderen, seinerseits bewegten Stern drehten, eine sekundäre Zentralbewegung, also ein treues Abbild des Sonnensystemes nach der neuen Ansicht. Den Feinden der letzteren war diese Entdeckung recht unbequem, und man erzählt sich, daß einige unter ihnen überhaupt nicht zu bewegen waren, das Fernglas zu benutzen, um nicht Gefahr zu laufen, ihre geliebte alte Weltansicht, in der sie grau geworden waren, über den Haufen geworfen zu sehen. Aber ein strenger Beweis für die Bewegung der Erde war das Vorhandensein der Jupitermonde doch nicht.

Dagegen hatte Galilei einen Weg sofort ins Auge gefaßt, auf dem man mit aller Genauigkeit zeigen konnte, daß unser Standpunkt im Weltall im Laufe eines Jahres einen Kreis um ein festes Zentrum beschreibt. Er sagt in seinen berühmten Dialogen: „Es wird sich einst unter den Fixsternen etwas beobachten lassen, woraus man einen Schluß auf die Bewegung der Erde ziehen kann, weil es nicht wahrscheinlich ist, daß die Fixsterne

gleichweit von uns abstehen.“ Nach dem Ptolemäischen System war dies bekanntlich der Fall, weil alle Sterne an dieselbe feste Sphäre, das primum mobile, geheftet waren. Stehen sie aber in Wirklichkeit ungleich weit von uns ab, so müssen sie perspektivische Veränderungen ihrer gegenseitigen Lage zeigen, die sich für jeden Stern im Laufe eines Jahres in stets gleicher Weise wiederholen: es muß eine jährliche Parallaxe der Fixsterne geben, wie es eine tägliche für den Mond und die Planeten gibt, die wir früher schon kennen gelernt haben. Wie bei dieser letzteren der Ort eines nicht allzuweit entfernten Gestirns sich während des täglichen Umschwungs der Erde um ihre Achse scheinbar gegen die unendlich weit entfernt gedachten Fixsterne verändert, so daß die Größe dieser perspektivischen Verschiebung sich nach dem Verhältnis der Entfernung des Gestirns zu der Größe des Erddurchmessers bemißt (s. S. 520), ebenso müssen auch die Fixsterne scheinbare Bewegungen ausführen, deren Maß durch das Verhältnis ihrer Entfernung zum Durchmesser der Erdbahn gegeben ist. Haben wir doch durch den Umlauf der Erde um die Sonne eine neue ungeheure Basis von 300 Millionen km Länge gewonnen, mit der wir die Entfernungen im Weltgebäude zu messen haben.

Es ist sehr leicht vorstellbar, wie sich die scheinbaren Bewegungen eines Fixsternes infolge seiner Parallaxe gestalten müssen. Versetzen wir uns zu diesem Zwecke zunächst auf diesen Stern selbst, so würden wir, den Besitz genügender optischer Mittel vorausgesetzt, Sonne und Erde als ein Doppelsternsystem vor uns haben, in dem die wahre Bahn des sekundären Körpers sich von einem Kreise nicht unterscheiden läßt. Wir wissen (s. S. 616), daß diese Bahn, aus allen Richtungen betrachtet, immer eine Ellipse bildet, in deren Mittelpunkte (nicht Brennpunkte) sich die Sonne befindet. Die große Achse dieser Projektionsellipse ist in jedem Falle gleich der großen Achse der wahren Bahn, aus der betreffenden Entfernung gesehen; sie wird durch den Sehwinkel nicht verändert. Wir können uns also immer ein langes, rechtwinkeliges Dreieck denken, dessen eine Seite gleich der Entfernung des Sternes von der Erde d ist, während die andere durch den Halbmesser der Erdbahn R gebildet wird. Es folgt dann zwischen diesen Größen und dem Winkel π, unter dem man von dem Sterne aus den Erdbahnradius R sieht, die Gleichung $R = d \tan \pi$. Man sieht aber unmittelbar, daß um diesen selben Winkel π umgekehrt jener Stern am Himmelsgewölbe von der Erde aus gesehen im Laufe eines Jahres verschoben werden muß, daß er also mit seiner gesuchten jährlichen Parallaxe gleichbedeutend ist. Alle Fixsterne müssen demnach kleine Ellipsen beschreiben, deren Größe von ihrer Entfernung und deren Form von ihrer Lage zur Erdbahn abhängig ist. Ein Stern, dessen Verbindungslinie mit der Sonne genau senkrecht auf der Ekliptik steht, der also von uns in ihrem Pole gesehen wird (90 Grad ekliptikale Breite hat), sieht die Erdbahn als Kreis; seine parallaktische Bewegung muß also dieselbe Form haben. Ein Stern in der Ebene der Ekliptik dagegen sieht die Erdbewegung nur als Linie, in der unser Planet mit gleichem Ausschlage zu beiden Seiten der Sonne hin und her pendelt. Die Parallaxe kann deshalb für alle Sterne in der Ekliptik oder in ihrer Nähe nur als Linie erscheinen. Dazwischen liegen Ellipsen, deren Achsenverhältnis (Exzentrizität) nur von ihrer ekliptikalen Breite abhängt, also im voraus berechnet werden kann. Die Größe der Achsen selbst wird allerdings von der unbekannten Entfernung des Sternes d bedingt; man kann diese finden, wenn man den Winkel π durch die Beobachtung bestimmt.

War eine solche scheinbare Bewegung der Sterne, die in der oben angegebenen Weise systematische Beziehungen zur Ekliptik hat und sich im Laufe eines Jahres abspielt, zu

beobachten, so war damit ein unumstößlicher Beweis für die Bewegung der Erde um die Sonne geliefert. Galilei hatte gemeint, daß sich solche Verschiebungen vielleicht durch die Beobachtung des Verschwindens eines hellen Sternes hinter einem sehr weit entfernten Turme nachweisen lassen würden, wenn man sie zu verschiedenen Jahreszeiten anstellte. Es beweist dieser Vorschlag nur, wie klein sich selbst dieser große Denker noch das Weltgebäude vorstellte. Als man mit dem Fernrohr zu messen begann, erkannten die Jünger der neuen Lehre an ihren immer negativ bleibenden Resultaten, wie ungemein Kopernikus den Umfang ihres Forschungskreises erweitert hatte, während die Gegner durch dieses gänzliche Fehlen der Fixstern-Parallaxen in ihren Angriffen wesentlich gestärkt wurden. Newton soll deshalb angesichts eines abermals zu erwartenden Mißerfolges die Ausführung eines Vorschlages verhindert haben, nach dem man ein großes Objektiv an einem Turme der Paulskirche in London befestigen wollte, um so eine unveränderliche Visierlinie nach einem Sterne zu erhalten, was vordem schon einmal zu dem gleichen Zweck versucht worden war. Hooke, ein erbitterter Gegner Newtons, mauerte ein Fernrohr von 12 m Länge fest, um dadurch die Verschiebung eines Sternes im Laufe der Jahreszeiten zu finden: alles war vergeblich. Selbst alle folgenden Verfeinerungen der Beobachtungskunst bis gegen die Zeiten eines Bessel hin blieben erfolglos. Zwar glaubte der früher genannte Däne Römer, Fixsternparallaxen von 30—40 Bogensekunden gefunden zu haben, sie wurden indes später als Beobachtungsfehler erkannt.

Nun ereignete sich aber auf der weiteren Suche nach Fixsternparallaxen etwas sehr Merkwürdiges. Bradley, um jene Zeit Direktor der Greenwicher Sternwarte, die mit vortrefflichen Instrumenten ausgerüstet war, hatte seit 1725 den Stern γ im Drachen, der als Zirkumpolarstern das ganze Jahr hindurch sichtbar ist, möglichst genau verfolgt, um eventuell eine parallaktische Verschiebung desselben zu entdecken. Die Beobachtungen, durch drei Jahre fortgesetzt, ergaben wirklich eine scheinbare Bewegung des Sternes, die sich im Laufe jedes Jahres regelmäßig wiederholte und in einer Ellipse stattfand, deren große Achse parallel zur Ekliptik lag. Der Ausschlag der scheinbaren Bewegung nach Osten und Westen war sehr bedeutend und überstieg eine halbe Bogenminute. Nach oberflächlicher Betrachtung wäre hier also eine sogar sehr beträchtliche Parallaxe entdeckt worden. Dagegen stellte es sich heraus, daß die Bewegung des Sternes in dieser Ellipse in anderer Weise vor sich ging, als es das Prinzip der parallaktischen Bewegung erheischt.

Um diesen Unterschied klarzustellen, betrachten wir zunächst einen Stern, der sich genau in der Ebene der Ekliptik befindet. Nach dem Vorangeschickten wird dann die größte parallaktische Abweichung für den Stern stattfinden, wenn die Erde, von ihm aus gesehen, die größte östliche oder westliche Elongation von der Sonne hat. Zur Zeit der Konjunktion und Opposition findet keine parallaktische Verschiebung statt, weil sich in diesen Stellungen die drei Körper in ein und derselben Linie befinden. Gerade das Umgekehrte hatte nun Bradley an jenem Sterne beobachtet: zur Zeit der Syzygien fand die größte Abweichung statt; zur Zeit der Elongationen gar keine. Als man später weiter nach der eigentümlichen Erscheinung forschte, fand man, daß alle Sterne ohne Ausnahme dasselbe zeigten, und daß ihre maximale Abweichung für alle die gleiche Größe hat. Die halbe große Achse der beschriebenen Ellipse mißt für alle Sterne 20,5″.

Wie sollte man diese neuentdeckte Bewegungserscheinung, die offenbar mit der Bewegung der Erde um die Sonne im unmittelbaren Zusammenhange steht, deuten? Schon

Bradley fand die richtige Erklärung, daß sie nämlich eine Folge der relativen Geschwindigkeit der Erdbewegung gegen die des Lichtes sei. Während die von den Sternen herkommenden Lichtstrahlen durch unser Fernrohr eilen, bewegt sich das letztere, von der Erde um die Sonne getragen, im Raume weiter; wir können deshalb den Lichtstrahl nicht aus derjenigen Richtung herkommen sehen, die er ursprünglich inne hat, sondern aus einer diagonalen Richtung, die sich nach dem Parallelogramm der Kräfte aus den beiden betreffenden Geschwindigkeiten ergibt. Es verhält sich mit der Verschiebung des Lichtstrahles im Fernrohr ebenso wie mit dem Wege einer Kugel, die etwa in senkrechter Richtung auf einen fahrenden Eisenbahnzug abgeschossen würde; durchdringt die Kugel die beiden Wände eines Waggons, so wird die Verbindungslinie zwischen den beiden Löchern nicht senkrecht auf den Wänden stehen, wenn auch die Zielrichtung senkrecht auf diesen Wänden stand. Die Abweichung wird in dem der Fahrtrichtung entgegengesetzten Sinne stattfinden, weil der Zug eine Strecke zurückgelegt hat in dem Zeitintervall, das die Kugel gebrauchte, um von der einen zur anderen Wand zu fliegen. Der Winkel dieser Abweichung ist leicht zu bemessen durch den Ausdruck $v = G \tan \alpha$, wo v die Geschwindigkeit des Eisenbahnzuges, G die der Kugel und α den gesuchten Abweichungswinkel bedeutet.

Wir können diese Verhältnisse unmittelbar auf die Erdbewegung übertragen. Bleiben wir wieder bei dem einfachsten Falle eines Sternes in der Ekliptik, so erkennen wir ohne weiteres, daß diese sogenannte Aberration des Lichtes in der Tat am größten sein muß, wenn sich die Erde für jenen Stern in Konjunktion oder Opposition zur Sonne befindet, weil dann ihre Bewegung senkrecht zum verbindenden Lichtstrahl stattfindet. Während der Elongationen dagegen bewegt sich die Erde entweder direkt gegen den Stern hin, oder von ihm hinweg; es kann deshalb keine Verschiebung der Richtung stattfinden. Ist diese Erklärung wirklich richtig, so muß man aus der Aberrationskonstante mit Hilfe der oben angegebenen Formel die Geschwindigkeit des Lichtes ohne weiteres berechnen können, indem man für g die schon bei früherer Gelegenheit gefundene Geschwindigkeit der Erde in ihrer Bahn einsetzt. Sie ist (nach S. 586) $v = \frac{2r\pi}{u} = G \tan \alpha$; also $G = \frac{2 \times 149\,500\,000 \times 3{,}1416}{31\,560\,000 \times 0{,}00009938} =$ 299,500 km. Für diese Rechnung wurde $\alpha = 20{,}5''$ angenommen und u in Zeitsekunden, r in Kilometern ausgedrückt. Der gefundene Wert ist also die Geschwindigkeit des Lichtes pro Sekunde in Kilometern. Die Zahl stimmt ausgezeichnet mit der durch physikalische Experimente innerhalb irdischer Entfernungen gefundenen, die wir ziemlich genau zu 300,000 km setzten. Die Aberration des Lichtes beweist uns also auf das schlagendste die Bewegung der Erde im Raume, deren Größe wir sogar mit verhältnismäßig großer Genauigkeit daraus hätten berechnen können, wenn wir die Geschwindigkeit des Lichtes aus den physikalischen Beobachtungen als bekannt annehmen.

Der Wert der Aberrationskonstante ist seit Bradley vielfach neu bestimmt worden. Es stellen sich übrigens dieser Aufgabe insofern Schwierigkeiten entgegen, als sich die scheinbaren Bewegungen der Fixsterne immer mehr verwickeln. Es müssen also in die betreffenden Gleichungen auch die Präzessions- und die Nutationskonstante als korrigierende, zugleich aber auch als korrektionsbedürftige Größen mit eingeführt werden. Als bester Wert der Aberrationskonstante gilt der von Newcomb ermittelte gleich 20,511″.

Inzwischen hatte man nicht aufgehört, nach parallaktischen Bewegungen der Fixsterne zu forschen. Doch mußte man es aufgeben, diese durch absolute Ortsbestimmungen der Sterne in der Form von Veränderungen der Zenitdistanz oder der äquatorialen Koordinaten

(AR und D) finden zu wollen. Denn derartige Bestimmungen waren zu sehr von dem Einflusse des Temperaturwechsels auf die Konstanten des messenden Fernrohrs abhängig, die ja auch eine jährliche Periode haben müssen, die eventuell die parallaktische Bewegung verdecken und selbst so weit überholen kann, daß widersinnige negative Parallaxen entstehen, der Stern also in anderer Richtung, als es die oben erörterte Theorie notwendig macht, abzuweichen scheint. Nach vielen weiteren vergeblichen oder doch sehr unsicheren Resultaten schlug endlich John Herschel die Methode der relativen Parallaxenmessung vor. Man hat zu diesem Zwecke einen optischen Doppelstern, d. h. also ein Sternpaar auszuwählen, bei dem man keine Bahnbewegung um einen gemeinschaftlichen Schwerpunkt bemerkt hat. Man darf bei solchen annehmen, daß sie ungleich weit von uns entfernt sind. Nehmen wir die scheinbaren Größen der beiden Sterne sehr verschieden, wählen wir beispielsweise einen Stern 1. Größe, für den deswegen schon die größere Wahrscheinlichkeit dafür vorliegt, daß er sich uns besonders nahe befindet, messen dann seinen Abstand von einem gleichzeitig im Gesichtsfelde des Fernrohres befindlichen Sterne 10. oder 11. Größe und finden diesen im Laufe der Jahreszeiten im Sinne einer Parallaxenbewegung schwankend, so dürfen wir wohl annehmen, daß der größte Teil dieser Bewegung dem hellen Sterne zuzuschreiben ist, namentlich, wenn man noch einen dritten schwachen Stern mit dem hellen gleichzeitig verglichen hat, der dieselbe Bewegung ergibt. Befindet sich dann der schwächere Stern aller Wahrscheinlichkeit zuwider doch in der Nähe des hellen, so wird man eben keine parallaktische Verschiebung bemerken, und ist er uns gar näher, so finden wir eine negative Parallaxe für den hellen Stern. Setzen wir dagegen voraus, daß das schwache Sternchen, wie es natürlich ist, sehr viel weiter als das leuchtende Gestirn von uns absteht, so können wir die Parallaxe des ersteren als verschwindend und die gefundene relative Parallaxe als die des hellen Sternes allein annehmen. Die für diese Methode erforderlichen Messungen können mit der größten Genauigkeit ausgeführt werden, deren unsere Meßkunst heute fähig ist, und ihr Resultat ist zugleich fast ganz unabhängig von der Kenntnis der übrigen scheinbaren Bewegungen der Fixsterne, wie Präzession, Nutation, Aberration u. s. w., weil diese in gleichen Lagen auf dem Himmelsgewölbe mit gleicher Größe wirken, also für die beiden Sterne denselben Einfluß haben und aus den für die Parallaxenbestimmung nur notwendigen Differenzbeobachtungen herausfallen. Auch von den Instrumentalfehlern darf man voraussetzen, daß sie, soweit sie nicht mehr zu ermitteln sind, doch beide im Fernrohre zugleich sichtbaren Sterne in gleicher Weise beeinflussen.

Da es sich hier um allerfeinste Messungen handelt, die jedenfalls nur bei mehrere Jahre hintereinander fortgesetzter Beobachtung zu einem einigermaßen vertrauenerweckenden Ergebnis führen können, so war es von vornherein nur möglich, eine geringe Anzahl von Sternen auf eine parallaktische Bewegung zu prüfen. Es ist leicht, aus der früher gegebenen Formel zu finden, daß eine Parallaxe von einer Bogensekunde einer Entfernung des betreffenden Sternes von mehr als 200,000 Erdbahnradien entspricht. Der Wert einer hundertstel Sekunde, der bei solchen Messungen keineswegs mehr zu verbürgen ist, ändert also die gefundene Fixsternentfernung bereits um 2000×149,500,000 km. Wir müssen uns also jedenfalls bei diesen direkten Ausmessungen der Fixsternräume auf sehr große Unsicherheiten gefaßt machen. Es fragt sich nun, welche Auswahl wir unter den Millionen Sternen treffen wollen, d. h. welche Sterne aller Voraussicht nach die nächsten sein werden. Ein zweifelloses Wahrscheinlichkeits-Argument ist in dieser Hinsicht ihre Helligkeit; wir haben davon

bereits im ersten Hauptteile, Seite 321, gesprochen. Es bleibt aber selbstverständlich nicht ausgeschlossen, daß es einige besonders helle Sterne geben kann, die trotzdem viel weiter als der Durchschnitt der Sterne 1. Größe entfernt sind, während sie doch bedeutende Helligkeit haben. Man wird sie erkennen, wenn man die geringe Zahl aller Sterne 1. Größe auf ihre Parallaxe prüft. Es kann aber auch der Fall vorliegen, daß andere Sterne nur sehr geringe Leuchtkraft haben, obwohl sie uns dennoch verhältnismäßig nahe sind. Da kleinere Individuen überall in der Welt stets häufiger sind als große, so wird aller Voraussicht nach der Fall, daß kleine Sterne große Parallaxen zeigen, nicht allzu selten sein. Wie aber findet man diese unter den Millionen heraus? Es gibt für diesen Fall noch einen Anhaltspunkt, der in der erst im nächsten Kapitel näher zu besprechenden Eigenbewegung der Fixsterne gefunden wird. Ist der Wert dieser Eigenbewegung besonders groß, so darf man schließen, daß der betreffende Stern von uns nicht sehr weit abstehen wird (vgl. S. 636 u. f.).

Diese Überlegung war es, die Bessel zuerst zu einer erfolgreichen Durchführung einer Parallaxenmessung veranlaßte. Der Doppelstern 61 im Schwan, dessen beide Komponenten nur 5,3. und 5,9. Größe sind, zeigt eine solche sehr bedeutende Eigenbewegung, und zwar laufen beide Sterne, die etwa 20 Bogensekunden Distanz zwischen sich haben, fast genau parallel am Himmel weiter; sie zeigen gar keine oder doch nur eine äußerst geringe Bewegung umeinander. Man hätte sie also zunächst trotz ihrer nahezu gleichen Größe für einen optischen Doppelstern erklären können, dessen eine Komponente sehr viel weiter als die andere von uns entfernt stehen würde und also in Wirklichkeit bedeutend größer sein müßte, damit sie trotzdem gleich hell erschiene. Ferner müßte der entferntere Stern gerade eine, dieser größeren Entfernung entsprechende größere Eigenbewegung haben, damit die beiden Sterne dieselbe scheinbare Entfernung voneinander für unseren Standpunkt beibehalten konnten. Ein solches Zusammentreffen war recht unwahrscheinlich, und wirklich scheint aus einer Bahnbestimmung, die C. F. W. Peters aus den Messungen zwischen 1828 und 1878 ableitete, eine Umlaufbewegung von etwa 800 Jahren zu folgen.

Bessel fand die Parallaxe des Doppelsternes gleich 0,348″. Später ist sie vielfach neu bestimmt worden. Es fanden sich sehr schwankende Werte, zwischen 0,564 (Auwers) und 0,192″ (Johnson). Auwers schon erklärte die Beobachtungen unter sich als unvereinbar, und Wilsing fand aus einer Vergleichung von 110 photographischen Aufnahmen, die eine Periode von 22 Monaten umfaßten, daß die relative Parallaxe des merkwürdigen Doppelsternes wirklichen bedeutenden periodischen Schwankungen unterliegt. Es folgt hieraus selbstverständlich nicht etwa ein wesentliches Schwanken der Entfernung dieses Sternes von uns, man muß vielmehr annehmen, daß die Entfernungen beider Sterne voneinander periodischen Veränderungen unterliegen, deren Ursache wiederum dunkle Massen sein können, die Störungen auf die sichtbaren Massen ausüben.

Nehmen wir die Parallaxe von 61 Cygni gleich 0,3″ an, so folgt daraus eine Entfernung von rund 600,000 Erdbahnradien. Das Licht legt den Weg einer Sonnenentfernung in etwa 500 Sekunden zurück (s. S. 557), es braucht demnach etwa 300 Millionen Sekunden, um von jenen Sternen zu uns zu gelangen. Ein Jahr hat rund 31,6 Millionen Sekunden; es sind also 10 Jahre für das Licht erforderlich, um von 61 Cygni bis zu uns zu gelangen. Der Laie staunt über diese ungeheuern Entfernungen. Die hier dargestellten Erörterungen aber enthalten hoffentlich auch für ihn genügende Beweiskraft dafür, daß diese Angaben unter allen Umständen eine untere Grenze bedeuten. Die wiederholten Messungen haben die

außerordentliche Kleinheit all dieser parallaktischen Abweichungen der Fixsterne mit Sicherheit erwiesen. Keiner dieser Winkel ist mit den verschärften Methoden unserer Zeit auch nur annähernd eine Bogensekunde groß gefunden worden. Nur vier Sterne haben eine größere Parallaxe ergeben als 61 Cygni; die größte von allen besitzt ohne Zweifel der auf der Südhalbkugel befindliche Stern α Centauri. Ältere Beobachtungen aus den 1830er und 40er Jahren gaben für diesen physischen Doppelstern eine Parallaxe von nahezu 1″. Später fand Elkin am Kap der Guten Hoffnung nur 0,47″ für diesen Wert, A. W. Roberts' Beobachtungsreihen dieses Sternes ergaben eine Parallaxe von 0,71″ mit einem wahrscheinlichen Fehler von 0,05″. Neuerdings nimmt man als wahrscheinlichsten Wert dafür 0,75″. Das gibt eine Entfernung von etwa 250,000 Erdbahnradien oder 4,3 Lichtjahre. Dies ist also die Entfernung der uns nächsten von allen anderen Sonnen.

Wir sind unter dieser Annahme imstande, etwas nähere Aufschlüsse über das Wesen dieses Doppelsternsystems zu erlangen. Wir können nämlich den Abstand des Nebensternes vom Hauptsterne in Erdbahnradien, d. h. in einem bekannten Maße, angeben. Die Berechnung geschieht durch dieselbe Formel, mit der wir die Parallaxen ermittelten, indem wir nur für den parallaktischen Winkel den Abstand der beiden Komponenten setzen. Nennen wir den Halbmesser der Bahn von α Centauri in Einheiten der Sonnenentfernung ausgedrückt r und den scheinbaren Abstand beider Komponenten $\mathbf{a}$, so erhalten wir die Gleichung $r = d \operatorname{tang} \alpha$. Für die Parallaxe haben wir dagegen $R = 1 = d \operatorname{tang} \pi$; die Verbindung beider Ausdrücke gibt mit Rücksicht darauf, daß die trigonometrischen Funktionen sehr kleiner Winkel sich wie die Winkel selbst verhalten, $r = \mathbf{a} : \pi$. Nach der Bahnbestimmung von Gill mißt die halbe große Achse der Bahn dieses Doppelsternes 17,2″. Diese dividiert durch die Parallaxe ergibt 22,9 Erdbahnradien für den Abstand des Begleiters; dieser befände sich demnach in etwas geringerem Abstande von seinem Hauptstern als Neptun von der Sonne.

Nach Kenntnis dieser Entfernung können wir nun auch die Kraft berechnen, mit welcher der Hauptstern auf den Nebenstern wirkt, da wir seine Umlaufszeit gleich 81,2 Jahren ebenfalls kennen. Aus unseren früheren Entwickelungen des Newtonschen Prinzips (s. S. 589 u. f.) findet man leicht, daß das Verhältnis der Wege, die zwei verschiedene Weltkörper, in ein und derselben Entfernung r von ihren betreffenden Zentralmassen angezogen, zurücklegen müssen, sich durch dieselbe Formel ausdrückt wie das dritte Keplersche Gesetz, d. h. wenn ein Körper in der Entfernung r von der Sonne die Umlaufszeit u hat, ein anderer Körper in einem anderen Sonnensystem in dieser selben Entfernung r dagegen die Umlaufszeit u_1, so wird das Verhältnis der Anziehungskräfte dieser beiden Systeme in der Entfernung r ausgedrückt durch die Formel $r^3 : u_1^2$. In unserem Falle erhalten wir die Masse von α Centauri gleich $\frac{22{,}9 \times 22{,}9 \times 22{,}9}{81{,}2 \times 81{,}2} = 1{,}8$ Sonnenmassen. Wir finden also in diesem uns nächsten aller Sonnensysteme ganz ähnliche Verhältnisse wie in dem unserigen wieder vor. Die Sonne α Centauri hat eine nur doppelt so große Masse als unser Zentralgestirn, und da unter der Voraussetzung gleicher Dichtigkeit die Durchmesser wie die dritten Wurzeln dieser Massen zunehmen, so wird der Durchmesser jener Sonne kaum ein Viertel größer sein als der der unserigen. Unter dieser Voraussetzung finden wir den scheinbaren Durchmesser der uns nächsten aller Sonnen gleich 0,006″. Wir dürfen uns deshalb nicht weiter wundern, daß bisher alle Fixsterne sich für unser Meßvermögen ganz durchmesserlos erwiesen.

Übersicht der Sterne in der Nähe der Sonne:

Nr.	Name	Größe	Parallaxe	Eigenbewegung	Entfern. (Sternw.)	Lichtzeit (Jahre)	Größe für s = 1	Absolute Helligkeit	Spektrum
1	α_2 Centauri . . .	0,4	0,752″	3,68″	1,3	4,3	—0,2	39	⊙
2	22 H. Camelop. .	7,3	0,496	4,74	2,0	6,4	5,8	0,2	⊙?
3	α Canis maj. . . .	—1,6	0,370	1,32	2,7	8,6	—3,8	1000	S
4	α Canis min. . . .	0,5	0,334	1,25	3,0	9,5	—1,9	177	S?
5	61 Cygni.	5,4	0,328	5,24	3,0	9,7	3,0	2	⊙
6	Cord. Z. C. V. 243 .	8,5	0,312	8,72	3,2	10,2	6,0	0,1	S
7	τ Ceti	3,6	0,310	1,92	3,2	10,2	1,1	12	⊙
8	Σ 2398	8,7	0,290	2,29	3,4	11,0	6,0	0,1	⊙
9	Lac. 9352	7,1	0,283	6,89	3,5	11,3	4,4	0,6	R
10	ε Indi	4,7	0,273	4,66	3,7	11,7	1,9	6	⊙
11	A.G. Hels. G. 13170	9,1	0,273	0,70	3,7	11,7	6,3	0,1	—
12	Lal. 21258	8,6	0,254	4,46	3,9	12,5	5,6	0,2	R
13	α Aquilae	0,9	0,232	0,65	4,3	13,7	—2,3	254	S
14	Lal. 18115 . . .	8,2	0,20	1,70	5,0	15,9	4,7	0,4	R
15	η Cassiopejae. . .	3,6	0,18	1,22	5,6	17,7	—0,1	35	⊙
16	σ Draconis . . .	4,8	0,175	1,83	5,7	18,2	1,0	12	⊙?
17	AOe. 10603 . . .	7,5	0,17	1,44	5,9	18,7	3,7	1	⊙
18	P. XIV 212 sq. .	6,3	0,167	2,08	6,0	19,1	2,4	3	—
19	o^2 Eridani	4,5	0,166	4,07	6,0	19,2	0,6	18	⊙?
20	AOe. 11677 . . .	9,1	0,16	3,04	6,2	19,9	5,1	0,3	—
21	70 p Ophiuchi . .	4,1	0,16	1,13	6,2	19,9	0,1	28	⊙
22	e Eridani	4,3	0,149	3,10	6,7	21,4	0,2	27	⊙
23	ζ Tucanae	4,3	0,138	2,04	7,2	23,4	0,0	31	⊙
24	β Hydri	2,9	0,134	2,25	7,5	23,8	—1,5	120	⊙
25	μ Cassiopejae. . .	5,2	0,13	3,77	7,7	24,4	0,8	15	⊙
26	α Piscis austr. . .	1,3	0,130	0,38	7,7	24,4	—3,1	560	S
27	Br. 3077	5,5	0,13	2,09	7,7	24,4	1,1	12	⊙
28	Gr. 1830	6,5	0,118	7,04	8,5	27,0	1,9	6	S
29	β Comae	4,3	0,11	1,19	9,1	28,9	—0,5	49	⊙
30	α Tauri	1,1	0,109	0,19	9,2	29,2	—3,7	955	⊙
31	ψ^5 Aurigae	5,4	0,106	0,15	9,4	30,0	0,5	19	⊙
32	Gr. 1646	6,7	0,101	0,90	9,9	31,5	1,7	6	S?
33	ϑ Ursae maj.. . .	3,3	0,09	1,10	11,1	35,4	—1,9	180	⊙
34	α Lyrae	0,1	0,082	0,36	12,2	38,8	—5,3	4250	S
35	Lal. 27298	8,0	0,08	1,10	12,5	39,8	2,5	3	⊙
36	α Aurigae	0,2	0,079	0,43	12,7	40,3	—5,3	4170	⊙
37	α Ursae min. . .	2,1	0,078	0,04	12,8	40,8	—3,4	745	⊙
38	Lac. 2957	6,0	0,064	1,71	15,6	49,7	0,0	30	⊙
39	Lal. 19022 . . .	8,1	0,064	0,80	15,6	49,7	2,1	4	⊙
40	20 Leonis min. . .	6,0	0,062	0,70	16,1	51,4	0,0	33	S
41	31 Aquilae . . .	5,3	0,06	0,98	16,7	53,1	—0,8	66	⊙?
42	β Geminorum . .	1,2	0,056	0,63	17,9	56,9	—5,1	3310	⊙
43	α Crucis	1,0	0,050	0,05	20,0	63,7	—5,5	5010	S
44	Sonne	—26,7	—	—	—	—	—0,1	34	⊙

Freilich darf nicht übersehen werden, daß die Unsicherheit über die Parallaxe in die Massenbestimmung mit ihrer dritten Potenz eingeht. Das Rechnungsresultat gibt die Unsicherheit im Falle von α Centauri zwar nur zu 0,05″ an. Nehmen wir jedoch die betreffenden Grenzen, um einen Überblick zu bekommen, weit größer an, und lassen wir die Parallaxe zwischen 0,5 und 1″ schwanken, so würde daraus eine Unsicherheit in der Bestimmung der Masse von α Centauri zwischen etwa 1 und 6 Sonnenmassen resultieren. Es muß immerhin

als ein bewunderungswürdiger Erfolg der durchdringenden Kraft des menschlichen Geistes bezeichnet werden, daß man eine Sonne auf die Wagschale zu legen vermag, deren Licht Jahre gebraucht, um uns die Kunde von ihrer Existenz und den scheinbaren und wahren Bewegungen zu geben, aus denen wir diese Schlüsse ziehen. Denn, da wir früher auch die Sonne gegen die Erde abgewogen haben und die letztere wieder gegen 1 kg in unserer Hand, so sind wir in der Lage, eine Zahl von Tonnen anzugeben, die, um ihr Dreifaches auf- oder abgerechnet, die Grenzen angibt, innerhalb deren sich das Gewicht der fernen Sonne im Centauren mit Sicherheit befindet.

Die auf Seite 633 gegebene Tabelle gibt nach Kobold die Parallaxen an, die bisher ermittelt wurden und in bezug auf die angegebenen Werte Vertrauen verdienen.

In dieser Tafel gibt die Spalte hinter dem Namen des Sternes seine scheinbare Größe, wobei die über die Normalgröße 1 um eine weitere Einheit hinausgehenden Helligkeiten mit negativem Zeichen versehen sind. Danach hat die zum Vergleich unten mit eingefügte Sonne die Größe —26,7. Die zweite Spalte enthält die Parallaxe, die dritte die Eigenbewegung, die vierte die Entfernung in „Sternweiten", die dadurch definiert sind, daß für sie die Parallaxe gleich 1" sein würde. Das ergibt dann 206,265 Erdbahnradien. Dann folgt die Lichtzeit in Jahren. Die nächste Spalte gibt an, wie hell der betreffende Stern sein würde, wenn man ihn aus einer Sternweite betrachtete. Die Sonne mit —0,1 würde also aus der Entfernung des α Centauri (—0,2) halb so hell leuchten, wie dieser für uns. Nun ist eine Spalte für die „absolute Helligkeit" hinzugefügt, d. h. die wahre Leuchtkraft der Sterne in einer bestimmten Einheit ausgedrückt, die für die Sonne die Zahl 34 gibt. Wir sehen daraus, daß es Sonnen gibt, die zweifellos viel heller sind als unsere Sonne; so ergibt sich für Sirius eine 1000 : 34 = 29mal größere Leuchtkraft. Die gegen das Ende der Tabelle verzeichneten sehr großen Helligkeiten einiger Sterne mit kleiner Parallaxe mögen allerdings nur Rechnungsresultate sein, die durch die Unsicherheit der betreffenden Parallaxenbestimmungen wesentlich beeinflußt sind. Die letzte Spalte gibt den Spektralcharakter der betreffenden Sterne. Die Sonnensterne sind mit ⊙, die des Siriustypus mit S, die der III. Spektralklasse mit R bezeichnet. Es sind also unter den 34 Sternen in unserer unmittelbaren Nähe, deren Spektrum genügend bekannt ist, 23 Sonnensterne, dagegen nur 8 Siriussterne und 3 der III. Klasse. Danach zeigen bei weitem die meisten Sterne unserer Umgebung die gleiche oder eine sehr ähnliche physische Zusammensetzung wie die Sonne. Sie gehören einem und denselben Sonnenschwarm an, der sich dem Milchstraßenzuge einordnet (s. S. 375).

Unter den in dieser Tafel angeführten Sternen gibt es nun außer α Centauri noch einige, die zugleich Doppelsterne mit bekannten Umlaufszeiten sind, woraus deren wahre Dimensionen ermittelt werden können. Hierher gehört namentlich Sirius, dessen Begleiter bei 7" Abstand eine Bahn von 20 Erdbahnradien ergibt, die er in 50 Jahren durchläuft. Seine Masse findet sich danach gleich dem Dreifachen der Sonnenmasse. Noch etwas größer ist Procyon, für den 4,6 Sonnenmassen gefunden wurden. 70 p Ophiuchi, ein Stern 4. Größe, ist an Masse etwa 1,7mal größer als unser Zentralgestirn. Soweit also die Prüfung möglich ist, begegnen wir in den Fixsternräumen keinen wesentlich anderen Verhältnissen, als sie unsere Sonne aufweist. Dagegen zeigt das Beispiel des Sirius, daß trotz der nicht sehr verschiedenen Größen- und Massenverhältnisse die absolute Leuchtkraft der Sonnen im Weltgebäude eine recht verschiedene sein kann. Wir haben es hier eben mit sehr verschiedenen Entwickelungsstadien zu tun. Dies zeigt auch in sehr auffälliger Weise das Mißverhältnis, in dem die Helligkeit der Begleiter

solcher Doppelsterne zu ihren Massen stehen. Bei Sirius entspricht der Hauptstern 2 Sonnenmassen; der Begleiter aber hat den halben Masseninhalt bei mindestens 5000mal geringerer Lichtstärke. Bei dem Doppelstern δ Equulei, der die kürzeste von allen direkt sichtbaren Umlaufszeiten mit 5,7 Jahren hat, ergibt sich gleichfalls die Masse gleich etwa 2 Sonnenmassen. Die Entfernung beider Sterne kann in ihrer exzentrischen Bahn zwischen 2 und 5 Erdbahnradien schwanken. Sehr merkwürdig verhält sich der Doppelstern 85 Pegasi, dessen Parallaxe neuerdings, freilich noch recht unsicher, zu 0,054" bestimmt wurde. Der Hauptstern ist 6., der Begleiter nur 10. Größe. Beide bewegen sich in 25—26 Jahren um ihr gemeinsames Schwerezentrum. Dabei zeigt es sich aber, daß der hellere Stern eine weit größere Bahn um dieses beschreibt als der schwächere, woraus folgt, daß der dunklere Begleiter dreimal mehr Masse besitzt als der „Hauptstern", der dies nur scheinbar ist. Die Unsicherheit der Parallaxe kann an diesem Verhältnis nichts ändern. Ist sie richtig, so besitzt der hellere Stern 1,5, der schwächere 4,5 Sonnenmassen. Die Entfernung beider Sterne voneinander würde dann zwischen einer Saturns- und einer Uranusweite schwanken.

Es wäre höchst erwünscht, eine noch weit größere Anzahl von Sternen auf ihre Parallaxen hin prüfen zu können. Da dies aber, in exakter Weise ausgeführt, eine ungemein umfangreiche Arbeit ist, so entschloß sich Ball, ein Überschlagsverfahren vorerst auf eine größere Anzahl von Sternen anzuwenden, um dadurch eventuell Andeutungen einer merkbaren Parallaxe zu erhalten, und dann die betreffenden Sterne besonders aufs Korn zu nehmen. Er beobachtete 368 Sterne zu den Zeiten, in welchen sie ihrer Stellung gemäß in ihrer scheinbaren parallaktischen Bewegung extreme Ausschläge machen müßten. Er konnte zeigen, daß durch seine Methode eine Parallaxe von mehr als ¾" hätte auffällig werden müssen. Aber es fanden sich unter den 368 Sternen nur zwei von einer merklichen Parallaxe, die indes immer noch unter jenem Grenzwerte standen. In neuerer Zeit hat Kapteyn nach einer besonderen Methode ähnliche vorläufige Bestimmungen an 250 Sternen vorgenommen, von denen aber nur einer eine größere Parallaxe als 0,1" ergab. Es ist also nicht wahrscheinlich, daß sich unter den schwächeren Sternen uns besonders nahestehende befinden.

Noch andere Methoden, die über die Entfernungen der Fixsterne überschlägige Auskunft geben, werden wir im nächsten Kapitel kennen lernen.

12. Die Eigenbewegung der Fixsterne und des Sonnensystems.

Bestimmt man in entsprechend langen Zwischenräumen von mehreren Jahrzehnten die Örter von Fixsternen wiederholt am Meridiankreis und befreit diese Beobachtungen von dem Einfluß aller scheinbaren Bewegungen, die wir bisher kennen gelernt haben, indem man sie sämtlich auf das mittlere Äquinoktium eines bestimmten Jahres reduziert, so ergeben sich dennoch für dieselben Sterne nicht dieselben Örter am Himmelsgewölbe. Es zeigen sich vielmehr geringe Verschiebungen dieser Örter, die, soweit wir bisher zu ermitteln vermochten, mit gleichförmiger Geschwindigkeit und in gerader Linie (streng genommen im größten Kreis) erfolgen. Dagegen ist die Richtung und Geschwindigkeit dieser Eigenbewegungen für jeden Stern individuell; wenigstens ergibt sich aus ihrer Zusammenstellung zunächst keinerlei Gesetz, das darauf hindeuten könnte, daß man es auch hier nur, wie bei den früher besprochenen, mit einer scheinbaren Bewegung zu tun hat. Da man seit Hipparch



wiederholt Sternkataloge angefertigt hat, so ist man über die Eigenbewegung von vielen Tausenden von Sternen genau unterrichtet. Leiden zwar die älteren Beobachtungen an immer größerer Unsicherheit, je weiter sie zurückliegen, so kommt ihnen doch dafür die große Zwischenzeit zu statten, die den Gesamtwert der Eigenbewegung vergrößert. So läßt sich z. B. nachweisen, daß der helle Stern Arcturus im Sternbilde des Bootes seit Hipparchs Zeiten um etwa 2½ Vollmondsbreiten von der Stelle gerückt ist. Da im allgemeinen (gewisse Ausnahmen werden wir sogleich kennen lernen) die für unseren Standpunkt im Weltgebäude sich zufällig zu Konstellationen verbindenden Sterne nach sehr verschiedenen Richtungen ihre Eigenbewegungen ausführen, so sind auch diese scheinbar ewigen Sternbilder, welche die ältesten Überlieferungen wenigstens im großen und ganzen ebenso darstellen, wie auch wir sie noch sehen, dem unaufhaltsamen Wechsel ausgesetzt, dem die ganze Natur durch alle Ewigkeiten unterworfen sein wird. So läßt sich zeigen, daß das bekannte Sternbild des Großen Bären vor 50,000 Jahren die Gestalt gehabt hat, die in unserer Darstellung auf Seite 637 oben gegeben ist, und nach 50,000 Jahren so aussehen wird, wie in der unteren Abbildung.

Die Größe dieser Eigenbewegungen zeigt sich, wie schon bemerkt, sehr verschieden. Die größte bisher überhaupt beobachtete weist ein Stern der südlichen Halbkugel auf, der nur 8. Größe ist. Er bewegt sich im Jahre um 8,7″ fort. Ihm folgt ein Stern 7. Größe, dessen Ort durch A. R. 11^h $47,2^m$ und D+38° 26′ bestimmt ist; die Astronomen bezeichnen ihn nach dem betreffenden Kataloge mit Groombridge 1830. Seine Eigenbewegung im größten Kreise beträgt 7,9 Sekunden. Es ist zunächst gewiß recht auffällig, daß die überhaupt schnellsten beobachteten Eigenbewegungen durchaus nicht den hellsten Sternen zukommen; wir führen hier die zehn schnellsten dieser Bewegungen auf (s. obere Zeichnung, S. 639) und zum Vergleich die relativen Eigenbewegungen der zehn hellsten Sterne des Himmels (in der unteren Darstellung auf S. 639).

Unter diesen Sternen befinden sich nur vier von mehr als 6. Größe, die man bekanntlich als Grenze der Sichtbarkeit mit bloßem Auge annimmt. Aber vier davon stehen hart an dieser Grenze. Unter den Sternen 1. Größe hat nur der uns nächste eine Eigenbewegung, die sich mit der der schnellsten Sterne messen kann.

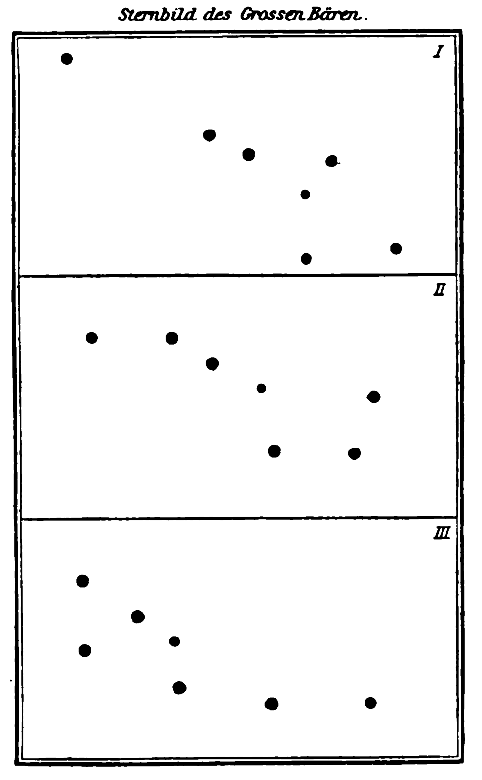
Unsere vielfachen Erfahrungen über die Einrichtungen des Weltgebäudes legen die Vermutung nahe, daß auch hier, wie überall sonst im Naturgetriebe, ähnliche Erscheinungen in ähnliche Grenzen eingeschlossen sind; auch die wahren Geschwindigkeiten der Eigenbewegungen werden sich deshalb um einen gewissen Mittelwert gruppieren. Ist dies der Fall, so können die wirklich beobachteten Eigenbewegungen uns einen gewissen Aufschluß über die durchschnittliche Entfernung der betreffenden Sterne geben; denn die wahre Durchschnittsbewegung muß sich für uns scheinbar um so mehr verkleinern, je weiter wir von dem Sterne abstehen. Es ist auch für diese Schlußfolgerung gleichgültig, daß wir nur einen Teil der eigentlichen Bewegung jener Sterne sehen, da sich ihre dreidimensionale Richtung für uns auf die Himmelsfläche projizieren muß. Nur wenn die Eigenbewegung senkrecht zur Sehlinie nach dem Sterne hin stattfindet, sehen wir sie unverkürzt; findet sie genau in der Gesichtslinie statt, so ist überhaupt keine Ortsverschiebung zu vermerken. Da wir keinerlei Anzeichen für die wahre Richtung der Eigenbewegung im Raume haben, so sind für uns zunächst alle Projektionswinkel, d. h. alle Verkürzungen gleich wahrscheinlich. Das Mittel aus allen wird also für eine und dieselbe Entfernung wiederum einen bestimmten Wert haben müssen, der sich

mit zunehmender Entfernung verkleinert. Wir sehen aber aus dieser Betrachtung zugleich, daß einzelne Sterne von dieser Regel sehr wohl eine Ausnahme machen können; es handelt sich eben in diesem Falle um einige kleinere Sterne, die unter den Hunderttausenden von gleicher oder geringerer Helligkeit sich uns aller Wahrscheinlichkeit nach besonders nahe befinden, so daß ihre Eigenbewegung ungewöhnlich groß erscheint.

Wir haben also in der Größe der Eigenbewegung der Fixsterne einen Anhaltspunkt für ihre Entfernung, der zwar ganz bedeutend leichter gefunden ist als durch direkte Parallaxenmessung, aber doch immer nur ein Anhaltspunkt bleibt, der zu einer genaueren Untersuchung herausfordert. Unter den Sternen mit größerer Eigenbewegung befinden sich nun wirklich zugleich die beiden, die auch durch Parallaxenmessung als die uns nächststehenden erkannt worden sind, *α* Centauri und 61 Cygni. Unter den zehn Sternen mit größter Eigenbewegung haben, wie wir am Rande unserer Tabelle, Seite 639, verzeichneten, sieben merkliche Parallaxen verraten. Daß die übrigen Sterne der Tabelle bisher keine Parallaxen zeigten, deutet darauf hin, daß es in der Tat Sterne gibt, deren wahre Eigenbewegung ziemlich wesentlich schneller ist als die durchschnittliche. Nimmt man von je zehn der uns nächsten Sterne (vgl. die Tabelle auf Seite 633) das Mittel der Parallaxen und der Eigenbewegungen, so ergeben sich folgende Zahlen:

	Parallaxe	Eigenbewegung
1—10	0,374″	4,00″
11—20	0,198	2,12
21—30	0,131	2,32
31—40	0,081	0,73

Auch hier zeigt sich deutlich eine durchschnittlich mit der Entfernung der Sterne abnehmende scheinbare Eigenbewegung.



Das Sternbild des Großen Bären: I. vor 50,000 Jahren, II. in der Gegenwart, III. nach 50,000 Jahren. Vgl. Text, S. 636.

Während, wie zu erwarten war, die extremen Fälle der Voraussetzung nicht entsprechen, daß im allgemeinen die Eigenbewegungen mit der Helligkeit der Sterne kleiner werden, bestätigt sich dies dagegen im Durchschnitt vollkommen. Nach einer Zusammenstellung von Mädler zeigt eine Vergleichung der von Bradley beobachteten Sternörter mit den später bestimmten, daß folgende durchschnittliche säkulare Eigenbewegungen stattfinden:

65 Sterne erster und zweiter Größe	22,2″	696 Sterne fünfter Größe	11,1″
154 Sterne dritter Größe	16,8	994 Sterne sechster Größe	9,0
312 Sterne vierter Größe	13,7	921 Sterne siebenter Größe. . . .	8,6

Wollte man mit Hilfe dieser Zahlen einen Schluß auf die relativen Entfernungen machen, so wäre dies unter der Voraussetzung möglich, daß die mittleren Eigenbewegungen in allen

Tiefen des Himmelsraumes ungefähr gleich wären. Das Verhältnis der säkularen Eigenbewegungen der einzelnen Sterngrößen zueinander würde dann zugleich das Verhältnis ihrer mittleren Entfernungen angeben. Dividieren wir also die erste Zahl (22,2) unserer letzten Tabelle durch die letzte (8,6), so müßte der Quotient (2,6) angeben, daß die Sterne 7. Größe nur zwei- bis dreimal weiter von uns abstehen als die Sterne 1. und 2. Größe. Dieses stimmt aber ganz und gar nicht mit anderen Durchschnittsbestimmungen, die aus der Vergleichung der Helligkeiten der Sterne zu ihrer Anzahl und Verteilung abgeleitet wurden, und die mehr Vertrauen erwecken. Wir haben also bei der Verfolgung der Frage nach der Ursache dieser Eigenbewegungen die Möglichkeit, ja Wahrscheinlichkeit im Auge zu behalten, daß die wahren Geschwindigkeiten der Eigenbewegungen mit dem Abstande der Sterne von uns eine gesetzmäßige Zu- oder Abnahme erfahren.

Bis vor einigen Jahrzehnten mußte man noch davon überzeugt sein, daß insofern unsere Kenntnisse von den wahren Eigenbewegungen der Sterne stets unvollkommen bleiben würden, als wir nur ihre Projektion auf die Himmelsfläche sehen. Gerade diese scheinbar unausfüllbare Lücke aber hat die wunderbare Wissenschaft der Spektralanalyse in neuerer Zeit auszufüllen verstanden. Nach dem auf Seite 61 u. f. erörterten Dopplerschen Prinzipe zeigen uns beobachtete Linienverschiebungen in den Spektren der Sterne ihre etwaigen Bewegungen in der Gesichtslinie an, und zwar nur diese Komponente, die genau die ergänzende zu der bisher betrachteten Art der Eigenbewegungen ist. Anfangs war diese Art von spektrometrischen Bestimmungen noch mit einer großen Unsicherheit behaftet, was daraus leicht erhellt, daß eine Verschiebung von 0,1 millionstel Millimeter einer Bewegung von 75 km in der Sekunde entspricht. Inzwischen sind aber die betreffenden Beobachtungsmethoden, namentlich durch die von Vogel in Potsdam eingeführte photographische Methode, so außerordentlich verfeinert worden, daß man solche Fixsternbewegungen in der Gesichtslinie bis auf eine Unsicherheit von wenigen Kilometern in der Sekunde zu bestimmen vermag. Unsere Spektraltafel bei Seite 331 zeigt beispielsweise unter Nr. 7 eine Reihe von in Potsdam aufgenommenen Spektren von α Aurigae, an denen man mit bloßem Auge diejenigen Linienverschiebungen erkennen kann, die durch die Bewegung der Erde um die Sonne hervorgerufen werden.

Es mußte uns mit Bewunderung erfüllen, daß auf diese Art das Spektroskop imstande ist, die sich dem direkten Anblick dauernd verhüllenden Bewegungen in der Gesichtslinie von Sternen, deren Entfernungen wir überhaupt nicht mehr kennen, in einem menschlich greifbaren Maße zu bestimmen. Aber diese erstaunliche Errungenschaft bringt doch im vorliegenden Falle eine unerwünschte Schwierigkeit dadurch in unsere Untersuchungen, daß die Maße für die Bestimmungen dieser beiden Komponenten ganz verschieden und nicht aufeinander reduzierbar sind. Die eine Komponente wird durch die Beobachtungen im Winkelmaß gefunden, das sich so lange nicht in ein uns bekanntes Längenmaß übertragen läßt, als die Entfernung uns unbekannt bleibt, in der jene Bewegung stattfindet. Die andere Komponente dagegen ist unmittelbar im Längenmaß gegeben, dem aber jeder beliebige Winkel für entsprechend veränderte Entfernungen angehören kann. Nur in den wenigen Fällen, in denen zugleich die Parallaxe des Sternes bekannt ist, läßt sich die Umsetzung des Winkelmaßes in Längenmaß ausführen. Wir sind also auch hier vorerst wieder auf überschlägige Bestimmung von Mittelwerten angewiesen. Wir führen auf Seite 640 eine Anzahl von Bewegungen in der Gesichtslinie auf, deren Werte ziemlich sicher verbürgt sind.

Stern	Eigenbewegung	Parallaxe	Größe
Cordoba 25h 243	872"	0.31"	8
1830 Groombridge	790"	0.12	6
Lacaille 9352	690	0.28	7,5
Cordoba G. C. 32416	620	—	8,5
61 Cygni	520	0.33	5,5
Lalande 21185	470	—	7,5
ε Indi	450	0.27	4
Lalande 21258	440	—	8,5
40 Eridani	410	0.17	4
μ Cassiopejae	370	0.13	5,5

Beobachtete hundertjährige Eigenbewegungen der 10 am schnellsten sich bewegenden Fixsterne. Maßstab 1 mm = 5″. Vgl. Text, S. 636.

Stern	Eigenbewegung	Parallaxe
Sirius α can. m.	125."2	0.37"
Canopus α argus	4.8	—
α centaur.	367.4	0.75
Arcturus α bootis	225.8	—
Rigel β orionis	1.9	—
Wega α lyrae	34.9	0.08
Capella α aurig.	43.8	0.08
Procyon α can. min.	132.8	0.33
Beteigeuze α orionis	3.5	—
Achernar α eridani	41.6	—

Relative hundertjährige Eigenbewegungen der 10 hellsten Sterne des Himmels. Maßstab 1 mm = 5″. Vgl. Text, S. 636.

Eigenbewegungen von Fixsternen.

	Scheinbare Eigenbewegung spektroskopisch beobachtet	Scheinbare Eigenbewegung visuell beobachtet	Parallaxe	Wahre Eigenbewegung
α Cassiopejae	— 3 km			
μ Cassiopejae	— 97	3,8″	0,13	178,1 km
γ Andromedae	— 11			
ε Andromedae	— 84			
α Arietis	— 14			
α Persei	— 2			
α Tauri (Aldebaran)	+ 51	0,2	0,11	51,7
β Orionis (Rigel)	+ 21			
α Orionis (Beteigeuze)	+ 18			
Orionnebel	+ 27			
γ Geminorum	— 17			
α Can. maj. (Sirius)	— 7	1,3	0,37	18,4
δ Can. maj.	+ 96			
α Can. min. (Procyon)	— 5	1,3	0,33	18,8
β Gemin. (Pollux)	+ 3	0,6	0,06	53,2
Groombridge 1830	— 95	7,9	0,12	298,5
γ Leonis	— 38			
α Bootis (Arcturus)	— 5	2,8	0,03	415,6
ε Bootis	— 15			
α Herculis	— 34			
α Lyrae (Wega)	— 19	0,4	0,08	26,9
α Aquilae (Atair)	— 33	4,5	0,25	40,2
γ Cygni	— 4			
α Cygni (Deneb)	— 2			
G 1 Cygni	— 62	5,2	0,33	97,8
ε Pegasi	+ 6			

Die erste auf die Namen folgende Spalte der Tafel enthält die Eigenbewegungen in der Gesichtslinie, in Kilometern per Sekunde. Das Minuszeichen bedeutet Annäherung, das Pluszeichen Entfernung von der Sonne. Bei einigen Sternen, für welche die Parallaxe bekannt ist, haben wir noch die visuell (direkt) beobachteten scheinbaren Eigenbewegungen (pro Jahr in Sekunden) und die Parallaxe hinzugefügt. Die letzte Spalte gibt für diese Sterne die wahren Eigenbewegungen, worauf wir zurückkommen.

Da es uns bei der Unsicherheit, in der man sich angesichts der ungeheuern Entfernungen der Fixsterne noch immer befindet, auf die Häufung von Indizienbeweisen ankommen muß, so mag noch eine Betrachtung eingefügt werden, die uns durch die Verbindung der beiden Komponenten der Eigenbewegung einen Schluß auf die Entfernung der nächsten Fixsterne zu ziehen erlaubt. Wir stützen uns dabei auf die Annahme, daß die größten gefundenen Eigenbewegungen der beiden Arten ungefähr auch gleichen Entfernungen angehören. Diese Werte sind einerseits 8″ im Jahr und anderseits rund 60 km in der Sekunde. Unsere Annahme setzt also voraus, daß der lineare Wert des Weges, dem in der unbekannten Entfernung dieser Winkelwert von 8″ entspricht, von einem Körper in der gleichen Zeit zurückgelegt wird, welcher in der Sekunde 60 km durchfliegt. Wir haben damit den Weg einmal in uns bekanntem Maße, das andere Mal als Winkel vor uns und können danach ohne weiteres die Entfernung bestimmen. Nennen wir die Eigenbewegung im Visionsradius s = 60 km, die senkrecht dazu e = 8″, nennen wir ferner a die Anzahl der Sekunden im Jahr und

c die Kilometerzahl der Sonnenentfernung, so haben wir die gesuchte Sternentfernung in Sonnenweiten ausgedrückt: $d = \frac{s\,a}{c\,\mathrm{tang}\,e}$, woraus sich in unserem Falle in sehr guter Übereinstimmung mit den Resultaten der direkten Parallaxenmessung rund 300,000 Sonnenweiten ergeben.

Nach einem ähnlichen Prinzip hat Kleiber die 22 Sterne behandelt, deren Bewegung im Visionsradius durch Potsdamer Beobachtungen genauer bestimmt ist. Er findet dadurch die mittlere Parallaxe dieser Sterne gleich 0,07″, also die Entfernung rund 2¾ Millionen Erdbahnradien. Die durchschnittliche Größe jener Sterne ist 1,8. Nach dem früher erörterten, auf die durchschnittliche Verteilung der Sterne im Raum gegründeten Verfahren würden Sterne dieser Größe uns im Durchschnitt näher stehen müssen; es käme ihnen eine Parallaxe von 0,117″ zu. Immerhin ist die Abweichung zwischen beiden Resultaten einer auf nur wenige Sterne begründeten Wahrscheinlichkeitsrechnung nicht allzu groß. Doch scheint auch hier eine Andeutung dafür vorzuliegen, daß die Annahme einer gleichmäßigen Verteilung der Bewegungsrichtungen nicht statthaft ist. Sind die Bewegungen der Fixsterne in ähnlicher Weise wie die der Planeten im Sonnensystem um eine Ebene geordnet, von der auch unsere Sonne nicht weit entfernt ist, so müssen die Bewegungen in einer Komponente vor der in der darauf senkrechten notwendig vorherrschen; so sind z. B., von der Sonne aus gesehen, die Bewegungen der Planeten im Visionsradius nur sehr gering gegenüber den im Kreise fortschreitenden.


F. Wilhelm Herschel, geb. 1738 in Hannover, gest. 1822 in Slough (England).
Nach einem Stich von C. Müller.

Für 21 Sterne war es bisher allein möglich, die wahren Bewegungen der Sterne im Raume zu ermitteln, wozu die drei Bestimmungen der säkularen Eigenbewegung, der Linienverschiebung im Spektroskop und der Parallaxe nötig sind. In der Tabelle auf Seite 640 haben wir für zehn Sterne diese Werte nach Kobold beigefügt.

Die größte unter diesen Eigenbewegungen ist die des Arktur mit mehr als 400 Kilometern in der Sekunde. Wegen der sehr kleinen und noch unsicher bestimmten Parallaxe dieses Sternes könnte man wohl ein Fragezeichen hinter diesen Wert machen, wenn nicht der für den kleinen Stern Groombridge 1830, dessen Parallaxe sicherer bekannt ist, und der sowohl im Visionsradius wie darauf senkrecht eine große Bewegung zeigt, sich auch 300 km

näherte. Es ist demnach sicher, daß einzelne Sterne gegenüber dem Durchschnitt mit gewaltiger Geschwindigkeit den Raum durcheilen. Im Mittel aus allen 21 daraufhin untersuchten Sternen ergibt sich 79 km, mit Ausschluß der vier größten, offenbar ungewöhnlichen Bewegungen aber nur 38 km für das durchschnittliche Fortschreiten dieser Sterne im Raume.

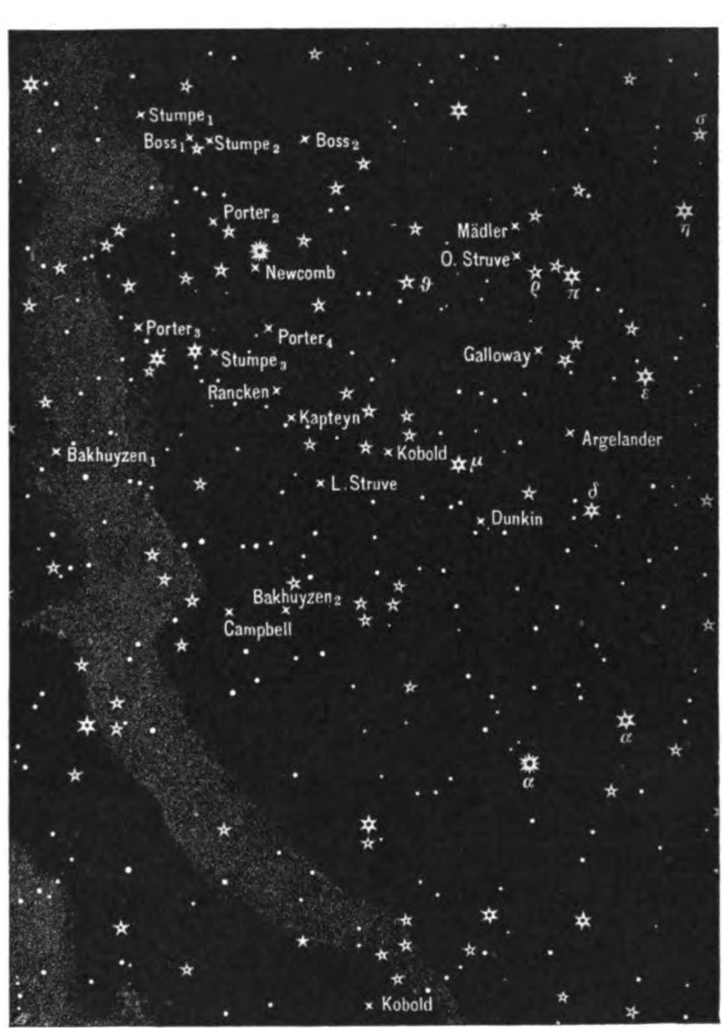
Wir haben schon früher im Kapitel über die Milchstraße von der systematischen Verteilung der Sterne um diese Ebene herum (s. S. 369 u. f.) gesprochen; wenn wir also nach einer Gesetzlichkeit in den Eigenbewegungen suchen, so hat die Annahme von vornherein vieles für sich, daß diese Gesetzlichkeit eine Beziehung zur Ebene der Milchstraße zeigt. Wir werden dies besser verstehen, wenn wir zuvor von einer anderen Eigentümlichkeit der Eigenbewegungen gesprochen haben.

Es fiel nämlich schon vor etwa einem Jahrhundert Herschel auf, daß die Richtungen der Eigenbewegungen keine ganz zufällige Verteilung über das Himmelsgewölbe aufweisen, sondern daß sie wenigstens im großen und ganzen so stattfinden, als ob die Sterne um ein gewisses Gebiet herum, das im Sternbild des Herkules zu liegen schien, voneinander zu fliehen, in der entgegengesetzten Richtung dagegen sich einander zu nähern scheinen. Die Gesamtheit der Erscheinungen hat also eine gewisse Ähnlichkeit mit jener, die wir bei den periodischen Sternschnuppenregen gefunden haben, nur daß die Bewegungen selbst ungemein viel langsamer vor sich gehen. Man konnte die Wahrnehmung nur dadurch erklären, daß die Sonne mit ihrem gesamten Gefolge gleichfalls eine Eigenbewegung hat, deren Apex (s. S. 254) im Sternbilde des Herkules liegt. Da wir in jeder Beziehung bisher eine enge Verwandtschaft der Sonne mit den Fixsternen fanden, und anderseits kein einziger Fixstern sich als unbewegt erwies, so war von vornherein anzunehmen, daß auch die Sonne eine Eigenbewegung habe, die sich in der der übrigen Sterne widerspiegelt. Also auch diese Bewegungen sind zum Teil nur scheinbare. Seit Herschel haben sich noch andere Forscher der Bestimmung des Sonnenapex gewidmet, insbesondere Mädler, Argelander und O. Struve; letzterer fand für diesen Punkt A. R. 261,5° und D + 37,6°. Die Bestimmungen der anderen und neuerer Forscher, insbesondere von Kapteyn, Stumpe, Newcomb, Bakhuyzen und Campbell, stimmen innerhalb einiger Grade mit dem angeführten Orte überein.

Alle diese Untersuchungen hat in neuerer Zeit Kobold einer Kritik unterzogen. Sie basieren sämtlich auf der Voraussetzung, daß von vornherein die wirklichen Eigenbewegungen der Sterne keine bevorzugte Richtung haben, daß also alle Richtungen gleich wahrscheinlich seien und die besondere Anordnung, wie die Beobachtung sie ergibt, allein nur die Folge unserer eigenen Bewegung unter ihnen sei. Seit man aber unzweifelhaft wahrnahm, daß gewisse Sterngruppen eine gemeinsame Bewegung ausführen, daß es „Sterntriften" gibt, war die obige Voraussetzung nicht mehr stichhaltig. Nachdem in einer besonderen Untersuchung Kobold sich von ihr unabhängig gemacht hatte, fand er als Zielpunkt der Sonnenbewegung eine Stelle mitten in der Milchstraße, bei A. R. = 270° und D = 0°. In dem auf Seite 643 beigefügten Kärtchen sind die von den verschiedenen Forschern ermittelten Zielpunkte eingetragen. Die zuletzt von Kobold gefundene wahrscheinlichste Richtung befindet sich ganz unten am Rande der Karte.

Ebenso wie die säkularen Eigenbewegungen geben auch die spektrometrisch gefundenen ein Mittel an die Hand, die translatorische Eigenbewegung des Sonnensystems zu ermitteln. Da indes bisher nur wenige Sterne auf diesem Wege untersucht werden konnten, wird das Resultat aus diesen Beobachtungen noch ziemlich unsicher sein. Es ist aber interessant, daß

Vogel in Potsdam aus den Bewegungen von 51 Sternen in der Gesichtslinie den Sonnenapex gleich A. R. 206,1 Grad und D + 45,9 Grad fand, also immerhin eine ähnliche Richtung, wie sie jene andere ganz verschiedene Methode ergab. Das spektrometrisch gefundene Resultat hat aber gegen das ältere den Vorzug, daß es zugleich die Geschwindigkeit, mit der das Sonnensystem durch den Raum fliegt, finden läßt; sie ergibt sich gleich 86 km in der Sekunde. Dieser Wert wird jedoch wesentlich modifiziert, wenn man den naturgemäß viel zuverlässigeren Wert für die Richtung, den die säkularen Eigenbewegungen ergeben, zugrunde legt. Dann erhalten wir für die translatorische Bewegung des Sonnensystems 57 km in der Sekunde. Kobold dagegen fand unter den oben erörterten Voraussetzungen nur 29 km, um die wir mit unserem ganzen System in jeder Sekunde im Raume vorwärts eilen.



Zielpunkte der Sonnenbewegung. Nach Kobold. Vgl. Text, S. 642.

Wenn auch die hier angegebenen Werte für die Richtung und Größe der Eigenbewegung des Sonnensystems in der Folge sicher noch Verbesserungen zu unterwerfen sind, so kann doch an der Tatsache selbst nicht gezweifelt werden, und diese ist es, die uns wohl von allen Erkenntnissen der astronomischen Wissenschaft mit dem größten Erstaunen erfüllen muß. Bedeutete schon die kopernikanische Lehre eine so übermächtige Umwälzung in unserer Weltanschauung, daß die Menschheit 400 Jahre brauchte, um sich an den Gedanken zu gewöhnen, daß unser Wohnsitz nicht feststeht im Weltgebäude, sondern um ein größeres Weltzentrum kreist, so ist der Gedanke in der Tat unfaßbar und unerklärt, daß auch dieses Zentrum nicht ruht, daß vielmehr das ganze große Planetengebäude mit seinen Hunderten von Welten

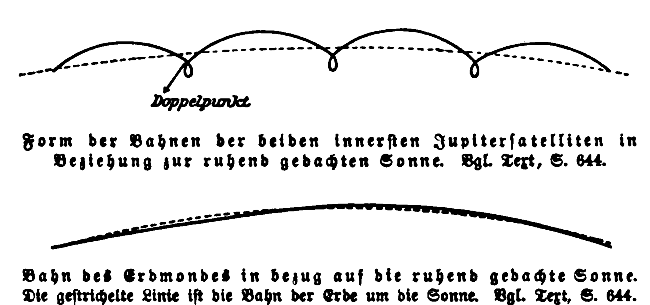
durch den Raum hineilt, als ob diese Welten alle untereinander fest verbunden wären, und daß es nun nirgends mehr, soweit wir das Universum überblicken, irgendwo einen festen Punkt gibt. Vielen erscheint es so, als ob damit alle bisher gesammelten Anschauungen über die Organisation des Weltgebäudes einer völligen Umwälzung unterworfen werden müßten, da die Bewegungen, die wir bisher den Planeten und unserer Erde beimaßen, nicht die eigentlichen Bewegungen sind, die sie im Raume ausführen.

Aber es wäre um die Wissenschaft der Astronomie schlimm bestellt, wenn wir zur Ergründung der Bewegungen der Himmelskörper deren absolute Werte notwendig brauchten; denn über die letzteren werden wir niemals überhaupt etwas wissen, weil es nicht möglich ist, im grenzenlosen Universum irgendwo einen Punkt zu bezeichnen, von dem man weiß, daß er wirklich feststeht, so daß man von ihm aus wahrgenommene Bewegungen messen könnte. Halten wir etwa für einen Augenblick irgendeinen Punkt fest, so können wir wirklich nicht aussagen, nach welcher Richtung hin und mit welcher Geschwindigkeit wir uns in der folgenden Zeiteinheit weiterbewegen. Dagegen haben uns unsere Forschungen in den Stand gesetzt, zu erklären, in welcher Weise sich die Lage der Verbindungslinien zweier oder mehrerer unserem Sehvermögen im Weltgebäude zugänglichen Punkte mit unserem Standort in einer Anzahl folgender Zeiteinheiten gegeneinander verändert. Diese relativen Ortsveränderungen sind es aber allein, die uns interessieren oder für uns von Wert sein können. Dieser Umstand ändert nichts an der Anerkennung der Errungenschaften unseres astronomischen Erkennens, ebensowenig wie wir z. B. andere Mittel als früher anwenden müssen, um einen Gegenstand von einem Punkt der Erdoberfläche zu einem anderen zu befördern, seitdem wir wissen, daß die Erde sich um ihre Achse dreht; denn der wirkliche Weg, den in bezug auf den Mittelpunkt der Erde der Körper zurückzulegen hat, ist ein ganz anderer, als wenn die Erde ruhte. Die Astronomen haben auch seinerzeit an der bis dahin bekannten Theorie der Mondbewegung nichts zu ändern gehabt, als sie erfuhren, daß der Mond nicht um die ruhende Erde kreist, sondern mit ihr um die Sonne. Ja, man hätte entschieden größere Schwierigkeiten, diese Bewegungen rechnerisch zu beherrschen, wenn man den Mond als um die Sonne kreisenden Körper, der von der Erde gleichzeitig beeinflußt wird, auffassen würde, weil dann das ungelöste Problem der drei Körper angewandt werden müßte. Es ist interessant, sich durch eine Zeichnung (auf S. 645) zu veranschaulichen, wie die Form der eigentlich vom Monde in bezug auf die ruhend gedachte Sonne beschriebene Bahn beschaffen ist. Wir sehen, daß diese Bahn nicht etwa, wie man zuerst vermuten sollte, Schleifen bildet, sondern im großen und ganzen der Erdbahn ähnlich ist und nur durch leichte Wellenlinien den Einfluß der Bewegung um die Erde verrät. Angesichts dieser Bahnlinie wäre es ganz natürlich, den Mond als einen anderen Planeten aufzufassen, der direkt um die Sonne kreist und nur von der stets in seiner Nähe bleibenden Erde beträchtliche störende Wirkungen erfährt. Auf dem bisher eingeschlagenen Wege aber, der das Erdzentrum zuerst feststehend denkt und den Mond sich um dasselbe bewegen läßt, während dann erst der Einfluß der Anziehung der Sonne und der übrigen Planeten auf das System Erde-Mond gemeinsam berücksichtigt wird, kommt man leichter und mit gleicher Sicherheit zum Ziele.

Selbstverständlich würde uns auch die genaue Kenntnis der translatorischen Bewegung der Sonne in dem Sinne, wie wir sie bisher aufgefaßt haben, nichts über die absolute Bewegung der Sonne sagen können; denn auch diese ist nur relativ in bezug auf den uns umgebenden Komplex von Fixsternen, aus deren Beobachtung wir sie ableiten. Dieser aber,

das große Milchstraßensystem, kann seinerseits eine gemeinsame Bewegung haben. Aber würden wir selbst diese ermitteln können, so würden wir dennoch nichts Absolutes über die Bewegungen der Materie wissen; denn der Umkreis, über den wir unsere Forschungen ausbreiten können, ist nur zufällig durch unsere menschliche Fähigkeit, Ferngläser zu konstruieren, begrenzt, und wie viele Jahrtausende auch das Licht gebrauchen mag, um von jenen Grenzen bis zu uns herab zu gelangen, so hindert uns doch nichts an der Vermutung, daß ein gemeinsamer Zug in allen von Menschen jemals übersehbaren Welten lebt, der auch ein vielleicht vorhandenes ganzes System von Milchstraßen in einer ewig unerforschlichen Richtung weitertreibt, von Kräften getragen, über deren Sitz wir niemals etwas werden erfahren können.

Das Vorhandensein dieser translatorischen Bewegung des Sonnensystems kann auch noch aus anderen Wahrnehmungen als denen der Eigenbewegungen der Sterne geschlossen werden. Wir haben schon bei Gelegenheit der Kometenbewegungen darauf hingewiesen. Kämen die Kometen aus den Anziehungssphären anderer Sonnen in die der unsrigen, so müßten diejenigen, deren Aphelien nach der Richtung des Sternbildes des Herkules hin liegen, in unser System mit einer relativ größeren Geschwindigkeit eindringen als aus der umgekehrten Richtung; wir müßten also aus der einen Richtung vorwiegend hyperbolische Kometen, aus der anderen ausgesprochen elliptische kommen sehen. Dies ist aber nicht der Fall. Wir müssen deshalb annehmen, daß auch die Kometen, aus wie weit entfernten Räumen sie auch zu uns gelangen mögen, die translatorische Bewegung des Sonnensystems mitmachen. Dagegen besitzen einige kosmische Meteore, von deren stark hyperbolischen Geschwindigkeiten wir wiederholt gesprochen haben, sicher eigene Bewegungen, die sie einstmals in den Bereich des Sonnensystems geführt haben, dem sie also vorher nicht angehört hatten.



Form der Bahnen der beiden innersten Jupitersatelliten in Beziehung zur ruhend gedachten Sonne. Vgl. Text, S. 644.

Bahn des Erdmondes in bezug auf die ruhend gedachte Sonne. Die gestrichelte Linie ist die Bahn der Erde um die Sonne. Vgl. Text, S. 644.

Durch die Bewegung des Sonnensystems im Raume sind wir bezüglich der übrigen Fixsterne in eine ähnliche Lage versetzt wie durch die Bewegung der Erde um die Sonne gegenüber den anderen Planeten: wir haben die scheinbaren Bewegungen, die nur durch unser eigenes Fortschreiten erzeugt werden, von den wahren zu trennen. Bevor uns dies für die Planeten möglich war, erschienen ihre Bewegungen höchst verwickelt, und es fiel sehr schwer, ein einheitliches Gesetz in ihnen zu finden. Der Kopernikus für das Milchstraßensystem ist wohl in Wilhelm Herschel (s. Abbildung, S. 641) bereits aufgetreten, aber es fehlt ihm noch der Kepler und auch, mit einer gewissen Einschränkung, der Newton. Kepler konnte seine reformatorischen Gesetze nur auffinden, nachdem ihm eine große Anzahl vortrefflicher Beobachtungen von Planetenbewegungen zu Gebote stand; solche müssen auch für die Bewegungen der Fixsterne vorliegen, bis ihr Kepler kommen kann. Da diese aber so ungemein viel langsamer erfolgen als die Planetenbewegungen, so muß man damit rechnen, daß ein oder gar mehrere Jahrtausende verfließen, ehe diese Bedingung erfüllt sein wird. Diese Betrachtung zeigt, wie die astronomische Wissenschaft, obgleich die bei weitem älteste unter

ihren Schwestern, doch immer noch in den Kinderschuhen steckt, und wie entsprechend der ungeheuern Ausdehnung ihres Forschungsgebietes auch außerordentlich große Zeitspannen nötig sind, um ihre Werke zu vollenden. Die Arbeiten, die ein gegenwärtiges Geschlecht in den stillen Stunden der Nacht ausführt, sind erst die Grundlagen, die wir den Astronomen kommender Jahrhunderte und Jahrtausende zur Verfügung stellen.

Auch die fortgesetzte Beobachtung der Bewegungen innerhalb unseres Sonnensystems kann und muß uns im Laufe der Jahrtausende Aufschlüsse über seine translatorische Bewegung geben; denn ebenso wie die Planeten sich untereinander beeinflussen, muß es auch mit den Fixsternen geschehen. Die Anziehungskräfte, die wir von den übrigen Sonnen ausstrahlen sehen, müssen auch bis zu uns gelangen; aber für diese gilt zunächst noch in weit höherem Maße als für die sekundären Systeme im Sonnengebiete, daß man für einen genügend entfernten anziehenden Körper die einzelnen Teile eines Systemes als in ihrem Schwerpunkt vereinigt annehmen kann. Die anziehende Wirkung der Millionen von uns umgebenden Sonnen auf unser System kann und muß sehr bedeutend sein. Wir wissen nicht, doch können wir es wohl annehmen, daß die translatorische Sonnenbewegung eine Folge dieser Anziehung ist; aber bei den ungeheuern Entfernungen, die uns von diesen anderen Sonnen trennen, ist diese Wirkung im ganzen Bereiche des Planetensystems von gleicher Größe und deshalb zunächst überhaupt nicht direkt wahrzunehmen, da wir, selbst mit bewegt, nur Differenzen solcher Bewegungen feststellen können. Die Möglichkeit der größeren Annäherung einer anderen Sonne an die unsrige ist aber keineswegs ausgeschlossen, wodurch dann gewisse säkulare Störungsglieder, von denen wir früher sprachen, sich noch mit einem weiteren, erst in Jahrtausenden merklich werdenden Faktor multiplizieren.

Sobald man einmal Bestimmteres über unsere translatorische Bewegung erfahren hat, werden auch die Entfernungen der Fixsterne in viel genauerer Weise zu ermitteln sein als bisher, weil man dann eine weit größere Basis gewinnt, als sie der Durchmesser der Erdbahn für die Parallaxenmessung bietet. Bewegt sich die Sonne wirklich in der Sekunde etwa 30 km im Raume geradlinig fort, so sind wir nach einem Jahrhundert bereits mehr als 300 Erdbahndurchmesser weitergerückt und haben also eine um ebensoviel größere Grundlinie zur Ausmessung der Fixsternentfernungen als bisher. Vielleicht wird man einmal auf ähnliche Weise etwas über die Entfernungen der Fixsterne erfahren können, wie man vermöge des dritten Keplerschen Gesetzes die Entfernungen der Planeten gefunden hat, die zum Teil gleichfalls viel zu weit von uns abstehen, als daß eine direkte Parallaxenmessung zu einem brauchbaren Ergebnis führen konnte. Dies würde voraussetzen, daß wir die Gesetze der Bewegungen kennen lernen, nach denen die Sonnen des Milchstraßensystems gemeinsam in feste Bahnen gelenkt werden.

Vorläufig aber sind wir diesem Ziele noch sehr fern, obgleich wir in begreiflicher Ungeduld darüber, jene größere Organisation einer Welt von Sonnen kennen zu lernen, schon sehr vielfache Anstrengungen deswegen gemacht haben. Es fehlt uns durchaus noch an dem nötigen Material zu solchen Untersuchungen, die im Verhältnis so schwierig und unsicher bleiben, als wenn wir von den Planeten nur Beobachtungen einer einzigen Stunde besäßen und daraus die Einrichtung des Planetensystems erkennen sollten.

Es fehlt uns ferner bis auf weiteres jeder Anhaltspunkt darüber, ob das Newtonsche Gesetz auch für die Bewegungen dieser Fixsternkomplexe Geltung hat, und selbst wenn man dieses annimmt, so ist die Theorie, welche die Bewegungserscheinungen innerhalb einer

solchen weit verstreuten Materieansammlung ohne vorwaltenden materiellen Mittelpunkt beherrschen würde, noch nicht genügend ausgebildet. Wissen wir doch selbst nur ganz Ungefähres über die Lage dieses Zentrums des großen Systems. Die Untersuchungen, die seinerzeit Mädler darüber anstellte, und die auf die Gruppe der Plejaden, speziell den Stern Alcyone in dieser Gruppe, als Mittelpunkt der bisher ermittelten Eigenbewegungen hinwiesen, haben vor einer späteren Kritik nicht bestehen können. So einfach, wie sich Mädler die Verhältnisse dachte, liegen sie nicht, und keinesfalls dürfen wir voraussetzen, daß die Bewegungen der einzelnen Sonnen in dem Sternhaufen, dem wir angehören, so geschehen, als wären alle seine Massen in seinem Schwerezentrum vereinigt, so daß also die Bewegungen um so schnellere werden müßten, je näher sich der betreffende Körper jenem Zentrum befindet, wie es beim Planetensystem der Fall ist. Es ist im Gegenteil aus dem Newtonschen Gesetze selbst abzuleiten, daß die wirkende Kraft des Komplexes desto geringer wird, je mehr wir uns seinem Zentrum nähern; die Verhältnisse müssen hier offenbar ganz ähnliche sein wie die, welche wir im Inneren der Erde vorfinden würden. Für diese haben wir bereits Seite 490 ermittelt, daß die gesamte Kugelschale, die einen größeren Radius hat, als der des in Betracht gezogenen Punktes ist, auf diesen Punkt keinerlei anziehende Wirkung ausübt. Da nun allem Anscheine nach die Hauptmasse des spiraligen Sternhaufens unserer Milchstraße gerade in dem äußeren Ringe angehäuft ist, so wird in seinem Inneren, z. B. dort, wo unser Sonnensystem sich bewegt, dieser ganze Schwarm von Millionen Sonnen, der die Milchstraße für uns bildet, ohne Wirkung auf die translatorische Bewegung des Sonnensystems sein. Die Geschwindigkeit dieser Bewegung wird also nach dieser Ansicht wesentlich unter dem Mittel bleiben, das aus der Gesamtheit der Sterne abgeleitet werden könnte. Die Geschwindigkeiten müssen dann nach der Milchstraße hin erst langsam, dann bedeutender zunehmen, letzteres namentlich innerhalb der Milchstraße selbst. Erst gegen ihren äußeren Rand hin wird die Zunahme der Anziehungskraft wegen der sich mehrenden Massen der quadratischen Abnahme durch den wachsenden Abstand vom Zentrum nicht mehr die Wage halten können, und die Bewegungen werden folglich wieder langsamer werden. Wie weit in dieser Hinsicht Modifikationen stattfinden, läßt sich erst übersehen, wenn wir Genaueres über die Dichtigkeit der Massenverteilung in den verschiedenen Regionen unseres Sternhaufens wissen werden.

Über diese Massenverteilung kann auch ein fortgesetztes Studium der scheinbaren Verteilung der sichtbaren Sterne über den Himmel nur sehr unvollkommen Aufschluß geben, da diese ohne Zweifel nur den kleineren Teil der wirklich innerhalb des Komplexes vorhandenen Massen darstellen. Der Zustand des Leuchtens eines Weltkörpers kann nur ein vorübergehender sein, und es spricht sogar alle Wahrscheinlichkeit dafür, daß er im Entwickelungsgange der Gestirne überhaupt nur die bei weitem kleinere Zeitspanne gegenüber derjenigen in Anspruch nimmt, in der ein nicht leuchtender Zustand statthat. Es ist deshalb anzunehmen, daß die Anzahl der unsichtbaren Weltkörper in den Himmelsräumen noch viel größer ist als die jener Körper, deren Existenz uns ihr Licht verrät. Wir werden gewiß einstmals aus den Bewegungen dieser sichtbaren Körper sowohl auf die Gesamtwirkung wie auf die individuelle Wirkung einzelner jener unsichtbaren Körper schließen können. Die Erledigung dieser Aufgabe aber eröffnet den Astronomen ein Arbeitsfeld, das ihre Tätigkeit noch für einige Jahrtausende ausfüllt.

Die ersten Versuche, die zweifellos vorhandene Ordnung der Bewegungen innerhalb



des Milchstraßensystems zu ergründen, sind in jüngerer Zeit gemacht worden. Wir haben deren Resultate bereits in unserem Kapitel über die Milchstraße gegeben. Es hat sich dabei die bereits von Schönfeld aufgestellte Voraussetzung, die Bewegungen der Fixsterne geschähen im allgemeinen in der galaktischen Ebene in wenig exzentrischen Bahnen, im allgemeinen bestätigt. Hier liegt eine interessante Parallele zu den Bewegungen in unserem Planetensysteme vor.

---

13. Die Schwerkraft.

Unsere letzten Betrachtungen haben uns an die äußersten Grenzen desjenigen Teiles des Universums geführt, den zu übersehen unsere menschlichen Kräfte eben noch ausreichen. Wie über alle Maßen hat sich unser Blick bis zu diesen Grenzen weiten müssen, seitdem Kopernikus und die Erfindung des Fernrohres ihn aus den Fesseln uralter Vorurteile befreite! Zu den Zeiten des klassischen Griechentums faßte man unter dem Begriffe der Welt eine kleine Scholle der Erdoberfläche zusammen, kaum so groß wie unser Europa, und was sich über dieser Scholle wölbte, jenes umschwingende Firmament, mit den der Erde dienenden Himmelskörpern, mochte um einige Bergeshöhen über den höchsten Gipfeln schweben. Nur einige wenige Denker hatten den Umfang der Welt mit größerem Maße gemessen; aber man blieb ungläubig gegenüber ihren unausdenkbaren Lehren. Langsam, äußerst langsam entwickelte sich der Begriff des Weltgebäudes; zuerst mußte ja die Erde unserem Wissen erobert werden. War auch schon mit Hilfe der Gradmessungen des Altertums durch theoretische Rechnungen die wahre Größe der Erde annähernd richtig abgeleitet worden, so schenkte doch die große Menge aller jener, die den mathematischen Schlüssen nicht folgen konnten, diesen Rechnungsresultaten wenig Vertrauen, bis man Afrika umschifft, Amerika entdeckt und schließlich die Erde umkreist hatte. Immer weiter rückte der Himmel in die Ferne, eine je größere Basis die eroberte Erde bot, und man konnte sich schließlich auch schon vor Kopernikus der Überzeugung nicht mehr entziehen, daß dort oben Himmelskörper hängen, die zum Teil, wie namentlich die Sonne, noch größer sein mußten als die Erde selbst, wie sehr auch der letzteren Größe in unserem Wissen inzwischen gewachsen war. Nun hob plötzlich Kopernikus die Erde aus dem Mittelpunkte der Welt und wies ihr eine sekundäre Stelle im Universum an. Die fünf wandelnden Sterne am Firmamente wurden ihresgleichen; andere Welten neben der Erde sah man mit ihr durch den Himmel wandern, und immer kleiner wurde ihnen gegenüber, was man früher die Welt nannte: der Erdkörper, auf dem es uns schwindelig werden könnte, wenn wir bedenken, in welcher Eile wir rastlos mit ihm durch den Weltraum gewirbelt werden. Aber selbst Galilei hatte, wie wir schon erfuhren, nicht geglaubt, daß die Entfernung der Fixsterne gegenüber der Sonne zu groß sei, als daß man während des jährlichen Umschwunges der Erde durch einfaches Visieren an einer Kirchturmkante vorbei die parallaktische Bewegung der Fixsterne erkennen könnte. Und dabei ist noch zu bedenken, daß die Sonnenentfernung damals noch als bedeutend kleiner angenommen wurde, als wir sie heute kennen.

Dann wurde das Fernrohr entdeckt; mit ihm vergrößerte sich die Zahl der bekannten Welten vieltausendmal, und alle diese Millionen Fixsterne wurden zu Sonnen wie die unsrige. Hatte sich bis dahin, wie wir sahen, die Weltanschauung nur ungemein langsam entwickelt und erweitert, so tat sich nun mit einemmal im 16. und 17. Jahrhundert ein Weltgebäude

von so umfassender Großartigkeit dem geistigen Blick der Menschheit auf, daß es abermals nur ganz wenigen möglich war, den großen Vordenkern zu folgen, die uns das neue Weltgebäude erschlossen haben. Noch heute ist die große Menschheit weit davon entfernt, den Gedanken in sich aufgenommen zu haben, daß diese ganze Erde, die Welt, wie wir sie oft noch nennen, nur ein unter Millionen verschwindendes Individuum ist, noch längst nicht so viel bedeutend wie ein einzelner Mensch unter den Völkern der Erde, und daß sie nur von uns im Werte so hoch angeschlagen wird, wie das eigene Ich, das aus dem Gewühle der übrigen hervortritt. Es ist auch nicht zu verwundern, daß die gewaltigen Gedankenreihen, welche die kopernikanische Lehre auslöste, sich so langsam Bahn brechen. Die Entwickelung des allgemein verbreiteten Wissens bedarf angesichts der breiten Schichten, in die es einzudringen hat, einer gewissen Stetigkeit; der plötzliche Aufschwung der astronomischen Wissenschaft seit Kopernikus bedurfte notwendig eines kräftigen Widerstandes, damit jene Stetigkeit erhalten blieb.

Inzwischen schreitet der Prozeß der Erweiterung unserer Erkenntnis vom Weltgebäude mächtig fort. Mit jeder Verfeinerung unserer Meßwerkzeuge wurde sozusagen eine neue Unendlichkeit der anderen hinzugefügt. Nicht nur, daß man immer mehr Sterne entdeckte, auch die Grenzen, bis zu denen die Fixsternparallaxen noch meßbar sind, wurden immer mehr erweitert, die Entfernungen weiter und weiter hinausgerückt. Die astronomische Einheit der Sonnenentfernung, von Kepler eingeführt, wurde viel zu klein, denn Hunderttausende derselben messen erst die kleinsten Fixsternentfernungen aus. Man führte das Lichtjahr ein, den ungeheuern Weg, den das Licht, geradlinig in jeder Sekunde 300,000 km zurücklegend, durchläuft, während die Erde einmal die Sonne umkreist. Auch von diesen Einheiten brauchen wir schon 4—6, um die Entfernung der nächsten Sonne auszumessen. Bis zu den Grenzen der Milchstraße, meint man, könne es 1000 und mehr dieser Einheiten weit sein; welche Entfernungen uns aber von den anderen Milchstraßen trennen, die wir jenseits unseres Milchstraßenuniversums vermuten können, das entzieht sich für immer unserer Forschung.

Dieser ganz ungeheuern Erweiterung unserer Übersicht vom Weltgebäude gegenüber war es begreiflich, daß einige kühne Denker es auch versuchten, über diese letzten Grenzen des erfahrungsgemäß Bekannten hinaus Schlüsse über den ganzen, wahrhaft unendlichen Umfang des Weltalls und die Beziehungen dieser Unendlichkeit zu dem uns bekannten endlichen Gebiete zu wagen. Teils durch philosophische Betrachtungen, teils mit Hilfe der mathematischen Analyse wollte man die Kette des Geschehens im Weltgebäude nach Raum und Zeit hin unendlich weit verfolgen. Kein Wunder, daß sich dabei der schwache endliche Geist des Menschen überall in unlösbare Widersprüche verwickelte. Da es uns undenkbar erscheint, daß Raum und Zeit nach irgendeiner Seite hin absolute Grenzen gesetzt sind, so warf man z. B. die Frage auf, ob in diesem wahrhaft unendlichen Raume auch unendlich viele Welten seit unendlichen Zeiten vorhanden seien. Und es schien so, als ob man zur Entscheidung dieser kühnen Frage greifbare Beweisstücke besitze. Gibt es nämlich unendlich viele Sonnen am Himmel, in noch so großen bis zu wirklich unendlich weiten Entfernungen von uns, so müßte doch immer die anziehende Kraft, die von ihnen aus das Weltall durchdringt, auch unendlich groß sein; und diese müßten wir verspüren. Freilich könnte man sich dabei denken, daß die Verteilung der Massen rings um uns herum eine gleichmäßige sei, daß also die unendlich großen Anziehungskräfte nach allen Seiten hin gleich stark wirken und

sich infolgedessen für uns aufheben. Dann aber müßte sich bei allen Körpern ein Bestreben zeigen, sich auszudehnen, um diesem Zuge nach allen Seiten hin nachzugeben. Da diese Wirkung schon seit endlosen Zeiten stattfindet, dürfte es feste Körper augenblicklich gar nicht mehr geben, was mit den Wahrnehmungen im augenscheinlichen Widerspruche steht.

Wir müssen hier ausdrücklich einfügen, daß wir keinen Anspruch auf absolute Richtigkeit dieser Schlußfolgerung machen, da wir bald an anderen Beispielen sehen werden, daß man bei Anwendung des menschlich konstruierten Begriffes der wahrhaften Unendlichkeit auch zu direkt gegenteiligen Schlußfolgerungen als diesen gelangen kann. Zöllner war in ein ähnliches Dilemma geraten. Er schloß: die Anzahl der Massen im Weltgebäude kann nur endlich oder unendlich groß sein. Ist sie unendlich groß, so muß von ihnen ein unendlich großer Druck auf allen Teilen des Weltalls lasten, weil jede Materie im leeren Raume Gase ausströmt, die deshalb zu einer unendlich großen Atmosphäre werden müßten. Dieser Druck ist nicht vorhanden; also ist die Materie endlich im Raume. Ist aber dies wirklich der Fall, so muß dieses selbe Bestreben der Ausdehnung aller Materie seit den unendlichen Zeiten, die bis heute verflossen sind, eine unendliche Entfernung eines jeden Atoms dieser Materie von dem anderen erzeugt haben, d. h. die Materie müßte überall unendlich dünn verteilt sein. Auch dies ist nicht der Fall, folglich können die letzten Prämissen oder Axiome, die wir diesen einfachen Schlüssen zugrunde legten, nicht richtig sein.

Dieses sind die Annahme der Unendlichkeit der Zeit und des Raumes und die Eigenschaft des letzteren, drei Dimensionen zu besitzen. An den beiden ersten Axiomen ist schlechterdings nicht zu rütteln; aber die Frage, ob der Raum wirklich nicht mehr als drei Dimensionen hat, ist von großen Mathematikern, wie Gauß, Riemann und anderen, ernstlich erörtert worden. In dem dreidimensionalen, sogenannten euklidischen Raume ist die kürzeste Verbindung zwischen zwei Punkten die gerade Linie. Zwei Körperteilchen, die sich auf dem schnellsten Wege voneinander zu trennen streben, bewegen sich also in einer geraden Linie und können, auf derselben weitergehend, in alle Ewigkeiten einander nicht wieder näherkommen. In einem vierdimensionalen Raum aber, den man sich denken kann, wie vieles andere, das nicht existiert, läßt es sich nachweisen, daß die kürzeste Verbindung zwischen zwei Punkten ein Teil eines Kreises von unendlich großem Durchmesser ist. Zwei Körper, die auf diesem sich voneinander trennen, kommen nach einer Unendlichkeit wieder zusammen. Es sind dabei also ohne alle weiteren physikalischen Voraussetzungen Kreisläufe der Materie zu denken, in denen die letztere sich abwechselnd ausdehnt und verdichtet. Zöllner glaubte an diese letzte Konsequenz seiner Schlußfolgerung, d. h. an die vierte Dimension.

Uns will es scheinen, als könnte man mit diesen und ähnlichen auf die Spitze gestellten Folgerungen nur beweisen, daß sich durch die Einführung der Idee von einer vollendeten Unendlichkeit alles und nichts beweisen läßt. Sehr schön hat Wilhelm Wundt zwischen einer vollendeten und einer werdenden Unendlichkeit unterschieden; nur mit der letzteren dürfen wir endlichen Geschöpfe rechnen, d. h. mit endlich vielen Gliedern einer unendlich langen Reihe, mit einer endlichen Häufung von Geschehnissen und Wirkungen, deren endlose Fortsetzung wir vermuten und selbst teilweise mit in unseren Schlüssen berücksichtigen können. Wir dürfen unendlich kleine Differentiale zu Integralen von endlicher Größe summieren. Auf astronomische Dinge angewendet dürfen wir also, wenn wir uns nicht in unlösbare Widersprüche verwickeln wollen, nur annehmen, daß in begrenzten Teilen

des Universums überall begrenzte Wirkungen stattfinden, wie wir sie dem Wesen nach kennen. Indem wir also sehen, daß in dem Milchstraßensternhaufen, dem wir angehören, die Sterne so weitläufig gesät sind, daß die Wirkung der Massenanziehung von einer Sonne auf die nächste fast verschwindend ist, also die Planetensysteme innerhalb einer begrenzten, jedoch sehr langen Zeitspanne als ganz selbständig, sozusagen alleinstehend, im Universum angesehen werden können, müssen wir weiter schließen, daß auch die anziehenden Wirkungen aller übrigen noch unentdeckten Himmelskörper in ähnlicher Weise für uns als nicht vorhanden angenommen werden können, daß also ein Summieren dieser Wirkungen bis zu einer unendlichen Größe überhaupt nirgends und niemals stattfindet.

Freilich können wir dann nicht umhin, die absolute, korrektionslose Richtigkeit der Formeln anzuzweifeln, welche die strahlende Wirkung der Gestirne, Licht, Gravitation ausdrücken. Eine korrektionslose Wirkung eines mathematisch scharf bestimmten Gesetzes in dem verwickelten Getriebe der wirklichen materieerfüllten Welt anzunehmen, ist unseres Erachtens ebenso unmöglich und sozusagen unlogisch wie jene Operationen mit der vollendeten Unendlichkeit, wie sehr sie auch den äußeren Formen der Logik genügen mögen. Das Absolute ist ebensogut eine Unendlichkeit, wie irgendeine andere, und kann von uns, in der Praxis angewendet, nicht ausgedacht werden.

In bezug auf das Licht sind Schlußfolgerungen gezogen worden, die dieses veranschaulichen. Olbers war, wie erwähnt, zu dem Schlusse gelangt, daß das Himmelsgewölbe überall so hell wie die Sonne strahlen müsse, wenn die Anzahl der Weltkörper eine unendlich große sei, denn von jedem Teil des Universums müsse eine Lichtwelle zu uns gelangen; die Intensität der Lichtwirkung wird aber durch die Größe der Entfernung der Lichtquelle an sich nicht vermindert, es gelangen nur um so weniger Lichtwellen zu uns, je kleiner der Körper durch seine Entfernung von uns erscheint. Da nun aber das Himmelsgewölbe keineswegs sonnenhell leuchtet, so war dies für Olbers (der Lausanner Astronom Cheseaux hatte übrigens vor Olbers denselben Gedankengang ausgesprochen, ohne daß er beachtet worden wäre) ein Beweis dafür, daß entweder die Anzahl der vorhandenen leuchtenden Sterne im Universum eine endliche sei, oder daß das Licht auf seinem Wege einen Widerstand fände, daß also eine Art Himmelsluft existiere, die das Licht in ähnlicher Weise verschlucke wie unsere irdische Atmosphäre. Die letztere Annahme führt aber nach dem Mayerschen Prinzip von der Erhaltung der Kraft zu neuen Widersprüchen. Die unendlich große, als Licht verloren gegangene Energie der Ätherbewegung muß irgendwo als eine unendlich große andere Kraft wieder zutage kommen, und wir können uns die Umsetzung nur als eine solche in Wärme vorstellen. Der Himmelsraum müßte also seit den unendlichen Zeiten, während deren unendlich viel Licht sich in Wärme umsetzte, unendlich heiß geworden sein, was nicht der Fall ist. Es schien also nichts anderes übrig zu bleiben, als die Anzahl der leuchtenden Welten für endlich zu erklären.

In neuester Zeit hat aber Seeliger gezeigt, daß die ganze Schlußfolgerung hinfällig ist. Wenn nämlich neben einer beliebig und selbst unendlich groß anzunehmenden Zahl von leuchtenden Welten auch dunkle Welten vorhanden sind, deren Zahl selbst gegen eine Unendlichkeit von leuchtenden als endlich angenommen werden könnte, so müssen diese dunkeln Welten einen Teil der dahinterliegenden leuchtenden verdecken und folglich ihr Licht für uns auslöschen. Ein einziger, in endlicher Entfernung befindlicher dunkler Körper kann dabei eine unendliche Menge in der Unendlichkeit befindliche leuchtende Punkte verdecken.



Was wir bisher als die sogenannte Extinktion des Sternenlichtes bezeichneten, wird also voraussichtlich nur zum Teil durch die Absorption des Weltäthers entstehen, zum anderen Teil dagegen durch einfache perspektivische Verdeckung seitens dunkler Weltkörper, an deren massenhaftem Vorhandensein im Weltraume nicht gezweifelt werden kann. Über die Frage von der unendlichen Vielheit der Welten aber sagt uns diese Betrachtung wiederum gar nichts aus.

Ebenso wie das Licht auf diese oder jene Weise auf seinem Wege durch die unendlichen Räume irgendwo aufgehalten und als solches vernichtet wird, muß es auch der strahlenden Wirkung der Schwerkraft ergehen. Es ist vielfach darüber spekuliert worden, ob die einfache Newtonsche Formel $m : r^2$ unbedingte Gültigkeit sowohl für die allerkleinsten wie die allergrößten Entfernungen habe. Selbst wenn man die Unendlichkeit hierbei ganz aus dem Spiele läßt, bleibt diese Formel bei näherer Betrachtung in der Tat unerklärlich, wenn man sie ohne Korrektionsglied zu einer allgemeineren Erklärung der Erscheinungen heranzieht. Die Formel setzt zunächst voraus, daß die Gravitation eine strahlende Kraft sei, ähnlich der des Lichtes, der Wärme u. s. w. Ist dies wirklich so, und stellt sich dieser Strahlung nirgends ein Widerstand entgegen, so ist das betreffende Gesetz allerdings eine Naturnotwendigkeit, die absolut gültig sein müßte. Eine konstante Wirkung, die von einem Punkte allseitig gleich stark ausstrahlt, muß auf allen Kugelflächen, die dieses Zentrum in allen beliebigen Abständen umgeben, auch immer wieder dieselbe Summe der Wirkung ergeben, wenn durch andere Einflüsse weder etwas hinzukommt noch davon genommen wird. Da nun die Flächen konzentrischer Kugeln sich wie die Quadrate ihrer Radien verhalten, so ist damit der Nenner der Newtonschen Formel erklärt; der die Masse enthaltende Zähler drückt dann weiter aus, daß von jedem Atom der das Zentrum umgebenden Masse eine gleiche Wirkung ausgeht. Die Newtonsche Formel ist also unter allen Umständen ohne jede Korrektion richtig, wenn folgende Voraussetzungen erfüllt sind: 1) die Gravitation strahlt von einem betreffenden Zentrum allseitig mit gleicher Stärke aus; 2) sie findet im Universum keinen Widerstand; 3) jedem Atom aller Körper wohnt eine unter sich gleiche und unveränderliche Gravitationskraft inne. Alle diese drei Voraussetzungen harren heute noch ihres unumstößlichen experimentellen Beweises. Bis dieser erbracht sein wird, müssen wir uns damit begnügen, die vorhandenen Wahrscheinlichkeiten für jene Voraussetzungen abzuwägen.

Da ist zunächst das Axiom von der strahlenden Wirkung der Schwerkraft. Dieses verknüpft sich eng mit dem dritten, das jene Kraft allen Körpern innewohnen läßt. Newton, der Entdecker der universellen Wirkung der Schwerkraft, äußerte sich darüber folgendermaßen: „Daß die Gravitation eine natürliche, inhärente und wesentliche Eigenschaft der Materie sei, so daß ein Körper aus der Ferne durch den vollkommen leeren Raum hindurch ohne Vermittelung irgendeines Etwas, durch das seine Tätigkeit und Kraft fortgepflanzt würde, auf einen anderen Körper einwirken könne, ist für mich eine so große Absurdität, daß ich glaube, niemand, der in philosophischen Dingen eine ausreichende Denkfähigkeit besitzt, kann jemals darauf verfallen.“ Newton hat hier ganz klar ausgesprochen, was doch erst seit Faraday, Robert Mayer, Helmholtz und Maxwell den Physikern recht in Fleisch und Blut übergegangen ist: daß jede Kraft einer Übertragung bedarf, um von einem Körper auf einen anderen zu wirken. Es gibt keine Strahlung durch den absoluten leeren Raum. Alle Wirkung muß von Atom zu Atom weitergetragen werden. Bei den anderen sogenannten strahlenden Wirkungen haben wir diese Tatsache in der Theorie des Lichtes,



der Wärme und schließlich durch Hertz und seine Nachfolger auch bei der Elektrizität zur Genüge nachgewiesen. Wir wissen, daß z. B. von einem Lichtzentrum nicht etwa, wie es die alte Emanationstheorie voraussetzte, Atomströme mit der Geschwindigkeit des Lichtes ausgehen, sondern daß es nur die Wellenkämme sind, die, von den leuchtenden Atomen erzeugt, sich mit dieser Geschwindigkeit fortpflanzen, während das Medium selbst, in dem die Wellen entstehen, ruhen kann. Es ist schließlich auch physiologisch erklärt, wie diese Lichtwellen wiederum die Sehzapfen unserer Netzhaut beeinflussen, um den Eindruck des Lichtes zu erzeugen.

Solche Ätherbewegungen sind aber durchaus nicht imstande, ähnliche Wirkungen wie die der Anziehungskraft zu erzeugen; es ist ohne weiteres einzusehen, daß die gleichmäßige Hin- und Herbewegung eines Körpers durch seine Stöße einen anderen nicht dauernd von der Stelle bewegen kann. Ein auf der bewegten Meeresoberfläche schwimmender Gegenstand geht mit den vorüberziehenden Wellen auf und ab, wird aber von ihnen nicht weiter getragen. Dies könnten nur die Wellen in einem Strome. Ginge aber von dem anziehenden Körper ein Strom von Atomen aus, so müßte man sich erstens fragen, wo kommen diese Atome her, da der Körper durch die Ausübung der Anziehungskraft nicht kleiner wird, und zweitens kann man hierdurch nur eine abstoßende Wirkung erklären. Ist der Atomstrom endlich gegen den anziehenden Körper hin gerichtet, so fragt es sich, wo bleiben diese Atome in dem Körper, und dann, woher nimmt der Körper diese anziehende Kraft, die ja inhärent in ihm nicht enthalten sein kann; er kann nicht aus der Ferne diese Atome zwingen, sich ihm zu nähern, und dadurch den Strom erzeugen. Wir meinen, es ist undenkbar, daß die Ätheratome in einem Raume, in dem sie vorher *ruhten*, ohne weiteres gegen einen Körper hinfliegen, sobald dieser plötzlich in den Raum gesetzt wird. Geschähe dies, so hätten wir ja die Kraft, die wir erst erklären wollen, zu ihrer eigenen Erklärung angenommen; wir brauchen dann diesen Ätherstrom gar nicht mehr. Descartes und andere hatten seinerzeit Wirbelbewegungen zur Erklärung der Anziehung anzuwenden versucht; man hätte also anzunehmen, daß innerhalb eines massigen Körpers die Atome derartige Bewegungen ausführen, daß andere von außen her in die Zwischenräume zwischen den Molekülen eindringende Atome, die des Äthers, in wirbelnde Bewegung versetzt werden, und daß diese sich dann weiter und weiter ausdehnen. Mechanisch wäre dies wohl möglich, und ähnliche Erscheinungen, wie die der kreisenden Planeten, wären daraus wohl abzuleiten. Aber abgesehen davon, daß die Theorie der Gravitation, wie sie heute aus den Beobachtungen der Gestirne gefolgert wird, sich nicht mehr mit dieser Idee vereinigen läßt, wäre für deren Erklärung damit eigentlich nichts gewonnen, denn es bliebe nun die dauernde Erzeugung der Wirbel in den Massen unerklärt. Das Manko ist nur auf ein anderes Konto geschrieben, nicht weggeschafft, und Unerklärliches durch Unerklärtes umschrieben.

Neuere Forscher, die sich mit der Lösung des Rätsels der Schwerkraft beschäftigt haben, knüpften dabei an jüngere Errungenschaften der Physik, insbesondere an die *kinetische Theorie der Gase* an, über die man in dem Werke des Verfassers, „Die Naturkräfte", Näheres nachlesen kann, in dem ein konsequent auf der modernen Atomlehre aufgebauter Erklärungsversuch *aller* Erscheinungen der Materie gemacht worden ist. Es läßt sich zeigen, daß die Atome eines Gases mit großer Geschwindigkeit geradlinig fortstreben und dadurch die Eigenschaften der Gase verursachen. Die Geschwindigkeit dieser geradlinigen Fortbewegung kann wahrscheinlich noch größer als die der Fortpflanzung des



Lichtes werden. Eine Summe von Gasatomen, die im freien Raume sich selbst überlassen werden, beginnen also zunächst nach allen Seiten auseinander zu gehen und werden daran nur teilweise durch ihre Nachbarn gehindert, gegen die sie stoßen, so daß sie zurückprallen und so mit immer größeren Ausschlägen, je weniger dicht die Gasmasse ist, mit jener großen Geschwindigkeit hin und her pendeln. Da nun im Weltenraume überall Massen existieren, von denen Gase entweichen können, so ist anzunehmen, daß Atome jener Gase in dem unendlichen Raume schließlich vollkommen frei werden, so daß sie geradlinig und gleichmäßig schnell sich fortbewegen. Wir werden übrigens bald sehen, daß diese Eigenschaft der geradlinigen, gleichmäßig schnellen Fortbewegung die einzige ist, die der Materie von allem Anfang an innegewohnt haben muß, wenn wir deren astronomische sowohl wie ihre physikalischen Eigenschaften, die wir vor Augen haben, erklären wollen. Wir haben also als erwiesen anzunehmen, daß der Weltraum von einer Schar von Atomen in allen Richtungen, solange sie auf kein Hindernis stoßen, geradlinig und gleichförmig schnell durcheilt wird.

Nun möge eine dichtere Massenansammlung diesem Atomregen ausgesetzt werden. Die Physik hat mit Sicherheit erwiesen, daß, wie dicht auch eine Masse sein mag, zwischen ihren Molekülen freie Räume bleiben, die im Verhältnis zur Größe der Moleküle sehr groß sind. Gäbe es Mikroskope, in denen man die Moleküle einzeln sehen könnte, so würde in ihnen ein von der Sonne beschienener Nadelknopf eine große Ähnlichkeit mit fernen Sternhaufen gewinnen, in denen sich die Sonnen für uns scheinbar zusammendrängen, wie hier die Moleküle. Durch diese Zwischenräume werden also die Ätheratome zum größten Teil frei hindurcheilen können und auf der anderen Seite des gedachten Weltkörpers ungestört im Raume weitereilen. Ein anderer Teil aber muß auch ebenso notwendig auf Moleküle des Weltkörpers stoßen und sie im Fluge mitzureißen suchen. Nun sind aber die Moleküle viel größer als die Ätheratome; sie setzen der Bewegung einen Widerstand entgegen und werden auch ihrerseits viel leichter von anderen Molekülen der Masse aufgehalten und zum Hin- und Herpendeln gezwungen werden. Da von allen Seiten gleiche Wirkungen auf die Masse ausgeübt werden, die ihre Moleküle zunächst gegen das Zentrum hin treiben, wenn sie dann auch pendelnd wieder zurückschlagen, so entsteht dadurch eine allmähliche Verdichtung jener Masse, die wir in der Tat überall wahrnehmen. Jeder Körper, der noch nicht im Stadium seiner maximalen Dichtigkeit ist, verdichtet sich unter dem Einfluß seiner eigenen Schwere und erzeugt dadurch in sich selbst Wärme. Wie dies bei einer sonst eigenschaftslosen Materie, die also in sich nicht die Kraft der Gravitation oder der Wärmeerzeugung besitzt, unter dem Einfluß der allseitig anstürmenden Ätheratome geschehen muß, haben wir nun gesehen, denn die Erscheinungen der Wärme lassen sich nur durch ein Hin- und Herpendeln der Moleküle eines wärmestrahlenden Körpers erklären, wie die Physik gezeigt hat. Steigern sich die Schwingungen der Atome bis zu einem gewissen Grade, so geht die Wärme in Licht über.

Wie ist aber die *strahlende* Wirkung von Wärme und Licht eines solchen Körpers zu erklären? Wir haben zu diesem Ende nur anzunehmen, daß nachfolgende Ätheratome auf die schwingenden Moleküle treffen und von ihnen zurückgeschleudert werden; geschieht dies in einem Augenblick, in dem das Molekül nach dem Zentrum hin pendelt, so wird die abprallende Wirkung des von außen herkommenden Atoms geringer sein, als wenn im nächsten Augenblicke das Molekül nach außen hin schwingt. Das Atom bekommt dann von der lebendigen Kraft des Moleküls etwas mit auf den Weg und setzt ihn schneller fort als sein nächster Vorgänger. Es werden also im Strome der von dem angenommenen Weltkörper



zurückprallenden Atome Verdichtungen und Verdünnungen auftreten, die dasselbe Gesetz befolgen wie das Pendeln der Moleküle des Weltkörpers. Trifft nun dieser Strom einen Beobachter, so wird dieser longitudinale Wellen des Lichtes oder der Wärme in diesem Strome bemerken, wenn er dessen Fortbewegung nicht berücksichtigt. Wir meinen, daß die Theorie des Lichtes die Möglichkeit nicht ausschließt, daß der Äther, der Träger der Lichtwellen, mit der mittleren Geschwindigkeit des Lichtes von dem leuchtenden Körper ausgeht, während wir doch zur Erklärung der Lichterscheinungen selbst nur die intermittierenden Differenzen brauchen, mit denen die Ätheratome die fortschreitenden Verdichtungen und Verdünnungen erzeugen. Wir hoffen, daß man diese Auffassung nicht für eine Rückkehr zur Emanationstheorie des Lichtes mißverstehen könne.

Der Strom der zurückprallenden Ätheratome umgibt allseitig unseren angenommenen Weltkörper. Da diese Atome inzwischen in dem Weltkörper eine Arbeit geleistet haben, indem sie ihn zu verdichten suchten und seine Wärme- und Lichtschwingungen erzeugten, muß ihre Geschwindigkeit dadurch vermindert worden sein. Denken wir uns nun einen zweiten Weltkörper in der Nähe des ersten, so können die Stöße der Ätheratome, die dieser letztere rings um sich herum aus dem Weltraume heraus empfängt, in der Richtung nach dem ersten Weltkörper hin in ihrer Summe nicht mehr so groß sein wie die aus allen anderen Richtungen kommenden, weil die ihn vom ersten Weltkörper bestrahlenden Ätheratome verminderte Geschwindigkeit haben. Dies bedeutet aber nichts anderes, als daß die von der entgegengesetzten Seite aus dem Weltraume kommenden Atomstöße ein Übergewicht haben und den zweiten Körper gegen den ersten hintreiben müssen. So läßt sich also die scheinbare Anziehungskraft des ersten Körpers qualitativ erklären. Es fragt sich nur, ob aus dieser Idee heraus die Newtonsche Formel und die Bewegungen der Weltkörper abgeleitet werden können.

Da die von dem ersten Körper zurückstrahlenden Ätheratome sich von ihm aus notwendig strahlenförmig im Raume ausbreiten müssen, und diese es allein sind, die durch ihre verminderte Geschwindigkeit gegenüber den noch nicht reflektierten Ätheratomen die Erscheinungen der Schwerkraft nach der vorgetragenen Ansicht hervorrufen, so befindet sich damit der eine Teil des Newtonschen Gesetzes, nämlich die Abnahme mit dem Quadrate der Entfernung in Übereinstimmung mit unserer Hypothese; denn wir haben schon ganz allgemein erwiesen, daß jede strahlende Wirkung dieses Gesetz befolgen muß. Weit verwickelter gestaltet sich jedoch die Frage, ob die letztere auch den anderen Teil des Newtonschen Gesetzes zu erfüllen vermag, wonach die Schwerkraft proportional der Masse wirkt. Es ist wohl einleuchtend, daß um so mehr Ätheratome von einem Körper zurückgeschleudert werden müssen, als er Moleküle enthält, gegen welche die Atome anprallen können. Dagegen kommt man hier in ein Dilemma wegen der sogenannten „Durchsichtigkeit der Materie für die Schwerkraft". Soll jedes Molekül eines massigen Körpers, sei es auch noch so tief im Inneren des Körpers gebettet, ein Atom zurückschleudern können, so müssen die Zwischenräume zwischen den Molekülen so groß sein, daß kein vorliegendes Molekül den Weg zu einem tieferliegenden stören kann; dann ist aber auch kein Grund vorhanden, weshalb nun dieses gerade getroffen werden soll. Hier liegt ein unmöglich wegzuräumender Widerspruch mit den Tatsachen vor, wenn man das Newtonsche Gesetz als ohne Korrektion bestehend voraussetzt. Welche Annahme man auch über die Ursache der Schwerkraft machen kann, vorausgesetzt, daß diese Annahme eine direkte Übertragung von Atom zu Atom erfordert, man wird immer zu der Notwendigkeit gelangen, daß nicht alle Moleküle einer Massenansammlung Schwerewirkung ausüben können. Die

Verhältnisse müssen sich notwendig ebenso gestalten wie bezüglich der Lichtstrahlen, die von den Sternen des Universums zu uns gelangen. Wie hier ein Stern die Strahlen eines anderen aufhält, so daß sie ihren Weg nicht weiter fortsetzen können, so muß auch ein Teil der Moleküle eines Massenkomplexes die Schwerewirkung eines anderen verdecken. Es erscheint uns deshalb mit den Prinzipien unserer modernen Naturanschauung ganz unvereinbar, daß die Schwerkraft in der Tat genau proportional der Masse wirken könne. Es wird der Newtonschen Formel einstmals ein weiteres, gegenüber dem ersten sehr kleines Glied, mit negativem Vorzeichen, hinzugefügt werden müssen. Die Gravitation muß, um den Vergleich mit dem Licht aufrecht zu erhalten, im Weltenraume sowohl wie in dem schwerestrahlenden Körper selbst eine Absorption erfahren, und damit fallen dann zugleich auch alle im Eingang dieser Betrachtungen erwähnten Widersprüche fort, die eine unendliche Häufung der Gravitationswirkung bei unendlich vielen vorhandenen Welten entstehen ließen. Ebenso wie nach Zurücklegung eines gewissen Weges schließlich jede Lichtwirkung aufgehoben wird, *hört auch die anziehende Wirkung allzu fernstehender Weltenkomplexe völlig auf.*

Indem wir also im Begriffe sind, das Gesetz der Proportionalität mit den Massen umzustoßen, müssen wir uns natürlich zunächst fragen, ob die Tatsachen der Beobachtung dem nicht entgegenstehen. Wir haben schon, als wir uns mit dem Ausbau des Newtonschen Prinzips, den Störungen u. s. w. beschäftigten, gesehen, wie schwierig die astronomische Bestimmung der Massen ist, selbst wenn man das Newtonsche Gesetz als vollkommen richtig annimmt. Von diesem unabhängige direkte Bestimmungen sind aber mit der Ausnahme der für unsere Erde selbst überhaupt nicht möglich; wir können die Weltkörper nur auf die von Newtons Geiste konstruierte Wagschale legen. Auch die Bestimmung der Erdmasse, die nur auf physikalischem Wege möglich ist, kann nicht mit der Genauigkeit geschehen, die erforderlich wäre, um eine Veränderlichkeit der Schwerkraft in einem anderen Verhältnisse als dem der Massenzunahme nachzuweisen. Es würde sich für diese Untersuchungen darum handeln, analoge Gesetze für die Gravitation zu finden, wie sie für andere strahlende Wirkungen, beispielsweise die des Lichtes in einem widerstehenden Mittel, erkannt worden sind. Allerdings fallen die Erscheinungen, die durch die Wellenbewegungen des Äthers hervorgerufen werden, für die Gravitation fort. Aber es wäre jedenfalls schon ein sehr wesentlicher Fortschritt, wenn es gelänge, die unvollkommene „Durchsichtigkeit" der Materie für die Gravitationsstrahlen experimentell nachzuweisen, woraus dann ferner die Notwendigkeit von Reflexwirkungen, Spiegelungen, folgen würde. Bis jetzt sind darauf bezügliche Experimente erfolglos geblieben, worüber man sich nicht zu wundern braucht, wenn man bedenkt, unter wie ungünstigen Bedingungen diese Versuche in unmittelbarer Nähe des für uns eine ungeheure Gravitationswirkung ausstrahlenden Erdkörpers angestellt werden müssen. Die Verhältnisse liegen hier nicht anders, als wenn man genötigt wäre, die allerfeinsten Messungen von Lichtintensitäten im hellsten Sonnenschein auszuführen. Da die Ergebnisse der Mechanik des Himmels jedenfalls eine sehr bedeutende „Durchsichtigkeit" aller Materie für die Gravitationsstrahlen zweifellos machen, so ist sehr wenig Aussicht vorhanden, auf physikalischem Wege diesen Fragen näher zu kommen, weil wir nicht imstande sein werden, einen merklichen „Gravitationsschatten" zu erzeugen, worin wir unsere Experimente ausführen könnten.

Dagegen stellen für solche Forschung die Bewegungen der Himmelskörper ein Experiment im großartigsten Stile dar. Fahren wir fort, die Bewegungen der Himmelskörper unter

Annahme des Newtonschen Gesetzes immer genauer zu verfolgen, und ziehen wir dann zweifellose Abweichungen in Rechnung, so werden wir das vermutete Korrektionsglied für die Newtonsche Formel aus den Beobachtungen abzuleiten vermögen. Es ist schon mehrfach versucht worden, z. B. von Laplace, Green, Neumann und Seeliger, neue Formeln zu entwickeln, die mit den Erscheinungen am Himmel nicht im Widerspruch stehen, aber anderseits die früher angedeuteten Ungereimtheiten aufheben, zu denen die strenge Anwendung der Newtonschen Formel führt. Man hat sich auch bemüht, diese Formeln rechnerisch mit den seinerzeit noch übrigbleibenden, jetzt aber anderweitig erklärten Abweichungen der Perihelbewegungen zu vergleichen, wozu zuerst in unserer Zeit die umfassende Newcombsche Untersuchung über unser Planetensystem (s. S. 615) eine Gelegenheit bietet. Aber es wäre noch sehr verfrüht, aus vorhandenen Übereinstimmungen jetzt schon Schlüsse zu ziehen.

Wollen wir nicht die nach unserer modernen Naturanschauung widersinnige Annahme machen, daß die Gravitation sich unendlich schnell durch den Raum fortpflanzt, sondern wollen wir ihre Fortpflanzungsgeschwindigkeit der des Lichtes vergleichbar halten, so muß in den Gravitationserscheinungen etwas hervortreten, das der Aberration des Lichtes analog ist. Hierauf ist zuerst von Wilhelm Weber hingewiesen worden. Finden nämlich die Atomstöße auf einem bewegten Körper statt, so muß ihre Kraft in einem Verhältnis verändert werden, das der bekannten Größe der beiden Wirkungen entspricht. Die Veränderung wird also eine um so größere sein, je stärker der Körper bewegt ist; es wäre also auch hier wieder Merkur, der am ehesten einen solchen Einfluß verraten könnte. Indessen läßt sich zeigen, daß, wenn die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Gravitation der des Lichtes gleich ist, die notwendige Korrektion bei den anderen Planeten für unsere gegenwärtige Beobachtungskunst noch verschwindend klein ist. Da anderseits über die Geschwindigkeit der Gravitation auf experimentellem Wege ganz und gar nichts nachgewiesen ist, so kann auch hier die weitere mit der denkbar größten Schärfe vorgenommene Verfolgung der Planetenbewegungen zu den interessantesten Schlüssen führen.

---

14. Die Entwickelungsgeschichte der Welten.

Haben wir es in den vorstehenden Betrachtungen versucht, uns ein anschauliches Bild von der Wirkung und Fortpflanzung der Universalkraft zu verschaffen, welche die Bewegungen der Myriaden von Weltkörpern im endlosen Raum, auch ihre inneren Bewegungen, durch die sie sich allmählich zusammenziehen und Licht und Wärme ausstrahlen, hervorruft und damit ohne Zweifel den Gestirnen ihren Entwickelungsgang vorschreibt, so bleibt uns doch noch die Entstehung jener anderen Bewegungsart unerklärt, durch welche die kreisenden Weltkörper der Gravitationskraft die Wage halten, wir meinen die Zentrifugalkraft. Diese trägt jedoch den Namen einer Kraft mit Unrecht, denn es bedarf nur eines einmaligen Anstoßes, um unter dem Einfluß der Schwerewirkung die Kegelschnitte zu erzeugen, mit denen wir uns oben (Seite 595) näher beschäftigt haben. Die tangentiale Bewegung würde bis in alle Ewigkeit bestehen bleiben, wenn die Schwerkraft aufhörte; ein Planet würde also, könnte man die Sonne plötzlich verschwinden lassen, bis in alle Ewigkeiten geradlinig weiterfliegen, wenn nirgends im Universum irgendeine Kraft noch weiter auf ihn wirkte. Es handelt sich also, wenn man die Bewegungen der Materie im Weltgebäude verstehen will, nur noch darum,

die Ursache des einmaligen Anstoßes, der irgendwann in den Vorzeiten der Entwickelungsgeschichte der Weltsysteme eingetreten sein kann, aufzufinden.

Wie haben wir uns also die Entwickelungsgeschichte der Welten zu denken? Außerordentlich viele Hypothesen sind hierüber aufgestellt worden, meist von Leuten, denen es an dem nötigen Überblick der erklärungsbedürftigen Tatsachen und oft auch an jener Klarheit des Gedankenganges fehlte, die bei Aufstellung von Hypothesen mehr als bei irgendeiner anderen Geistesarbeit erforderlich ist, um nicht auf die bedenklichsten, von ihren Urhebern aber nicht als solche erkannten Irrwege geführt zu werden. Es gibt nichts Leichteres, als für eine beobachtete Wahrnehmung irgendeine Ursache vorauszusetzen, die sie erklären soll, und dann für alle anderen Wahrnehmungen immer wieder neue Ursachen zu finden. Von einer guten Hypothese dagegen verlangt man, daß sie bei möglichst wenigen Voraussetzungen möglichst alle Erscheinungen des betreffenden Wahrnehmungskreises erklärend miteinander in Zusammenhang bringt. Von dem Aufsteller der Hypothese ist also in erster Linie zu verlangen, daß er alle in Betracht kommenden Erscheinungen völlig beherrscht.

Es ist Denkern, die zu den ersten aller Zeiten gehören, wie Kant und Laplace, nicht gelungen, Weltbildungshypothesen zu konstruieren, die nach den Erkenntnissen unserer neueren Astronomie in allen ihren Teilen bestehen können. Wenn wir es im folgenden trotzdem versuchen, den bestehenden Hypothesen noch eine neue hinzuzufügen, so geschieht dies nicht in der Anmaßung, etwas Besseres als das bisher Bestehende damit zu geben, sondern nur in der Meinung, daß der einfache auf atomistischer Grundlage aufgebaute Gedankengang vielleicht gelegentlich eine Anregung zu eingehenderer Forschung bieten könne.

Um der Bedingung zu genügen, möglichst wenig Voraussetzungen zu machen, wollen wir nichts anderes annehmen, als was wir wirklich und unstreitig vor Augen sehen, nämlich, daß das Weltgebäude von einer großen Anzahl von Körpern in allen Dimensionen und mit allen Geschwindigkeiten durchlaufen wird, und dabei aus bekannten Gründen ausschließen, daß diese Dimensionen und Geschwindigkeiten jemals unendlich werden können. Da die Wirkungsweise der verschiedenen Kräfte, welche die Physik und die Astronomie der Materie zuspricht, nicht ganz klargestellt ist, wollen wir ihr zunächst gar keine Kräfte zuerkennen, es sei denn, daß man die Raumausfüllung der kleinsten Teile dieser Materie, d. h. ihrer Atome, für eine Kraft ansehen will. Da wir ferner eine krummlinige Bewegung nach den bisher üblichen Ansichten nur unter der fortwährenden Wirkung einer Kraft entstanden denken können, so schließen wir diese für unsere unbewiesenen Annahmen aus. Genau präzisiert sind also die letzteren: 1) Es gibt Raumteile, in die andere ihresgleichen nicht einzudringen vermögen, d. h. absolut feste Atome; diese mögen jede beliebige äußere Form haben und deshalb in der Massenhaftigkeit ihrer Wirkungen durchschnittlich als Kugeln anzusehen sein. 2) Diese Atome bewegen sich geradlinig und gleichmäßig schnell durch den Raum, und zwar zunächst im Durchschnitt mit einer Geschwindigkeit, die mindestens gleich der der Fortpflanzung des Lichtes ist.

Um allein aus diesen beiden Axiomen heraus das Weltgebäude und seine Entwickelung zu konstruieren, gehen wir von der Tatsache des offenbaren Augenscheins aus, daß die Atome ungleichmäßig über den Weltraum verteilt sind. Es gibt an einigen Stellen ungeheure Massenansammlungen, zwischen denen noch weit größere nahezu leere Räume vorhanden sind, die nur von den freien Ätheratomen durchschwirrt werden; diese erzeugen die Wirkungen der Gravitation und des Lichtes, die wir vorhin unter der Voraussetzung jener nämlichen beiden Axiome bereits näher entwickelt haben. Es würde für unsere Aufgabe



selbst ganz gleichgültig sein, bei welchem Gebilde von Massenansammlungen, von denen wir den verschiedenartigsten im Weltgebäude begegnet sind, wir unseren Erklärungsversuch beginnen wollen. Von dieser Freiheit Nutzen ziehend, wählen wir den einfachsten Zustand der Materie aus, den das Weltall aufweist, einen ganz unregelmäßig geformten Nebel. Sein Vorhandensein verrät uns, daß an der betreffenden Stelle des Weltraumes die umherschwirrenden Ätheratome anfangen, nicht mehr ganz frei zu sein; sie sammeln sich hier an und müssen deshalb die Bedingung vorfinden, sich gegenseitig derart zu beeinflussen, daß sie beieinander bleiben. Diese Vorbedingung aber ist die der von vornherein vorhandenen ungleichen Verteilung der Materie. Wir brauchen nicht zu wiederholen, wie eine solche Materieansammlung sich unter dem Einfluß der freien Ätheratome infolge der hier vorhandenen größeren Kollisionsgelegenheit der undurchdringlichen Raumteile allmählich verdichten muß. Diese Verdichtung des vorläufig noch aus nahezu freien Ätheratomen zusammengesetzt gedachten Nebels ist nur so zu verstehen, daß die durch Stoß und Gegenstoß entstehenden pendelnden Bewegungen sich um die Mitte des Nebels in der Weise gruppieren müssen, daß durch diese die meisten Atombahnen hindurchführen; dies läßt sich rechnerisch nachweisen.

Wir müssen an dieser Stelle vorläufig noch eine weitere Voraussetzung machen, die voraussichtlich jedoch als eine theoretische Notwendigkeit erkannt werden wird, sobald man das Wesen der Schwerkraft auf Grundlage der hier skizzierten atomistischen Anschauung weiter verfolgt. Wir müssen nämlich annehmen, daß die zunächst in dem Nebel nur hin und her pendelnden Atome unter dem Einfluß der nach dem Zentrum zu mehr und mehr sich häufenden Kollisionen ihre Bewegungen in sehr langgestreckten elliptischen Bahnen vollführen. Fassen wir die Summe der Wirkungen aller stattfindenden Kollisionen als einen nach dem Zentrum des Nebels wachsenden Widerstand auf, den seine übrige Materie der Bewegung eines einzelnen Atomes derselben entgegenstellt, so müssen die geringsten Unregelmäßigkeiten der Massenverteilung in der Tat aus den pendelnden Bewegungen andersgeformte erzeugen, in denen der Körper auf einem anderen Wege zurückkehrt, als er gekommen ist. Daß aber diese Bewegungen bei dem größten Teile der dem Massenkomplexe angehörenden Atome eine nicht ins Unbegrenzte hinausgehende ist, beweist allein schon das Vorhandensein dieser Materieansammlung selbst. Die Tangentialgeschwindigkeit, die für die Erscheinungen der Bewegungen der Himmelskörper noch zu erklären war, wird durch seitliche Stöße wenigstens den Atomen des betrachteten Körpers gegeben, die ohne diese nur durch das Zentrum hin und her pendeln würden. Dieser einmalige seitliche Stoß gibt den einzelnen Materiepartikeln Kegelschnittbahnen von allen denkbaren Formen, in denen jedoch die elliptischen vorwalten müssen, weil der Nebel als solcher bestehen bleibt. Wir stellen uns also vor, daß in dem Nebel die noch ziemlich freien Atome sehr große Bahnen beschreiben, die den Bahnen der Kometen unseres Sonnensystems vergleichbar sind. Es darf von vornherein wohl selbstverständlich erscheinen, daß die Bewegungen, die wir an den großen Weltkörpern dem Wesen nach bemerken, auch bei den allerkleinsten Massenansammlungen bis zu den Atomen herab wiedergefunden werden müssen, solange diese sich im übrigen frei bewegen können. Es wird also im folgenden unsere Aufgabe sein, in das Gewirr von Kegelschnittbewegungen, mit denen die kleinsten Teile eines Nebels von der Ausdehnung eines Weltsystems durcheinander schwirren, die Ordnung zu bringen, die wir in den verschiedenen Teilen des Himmelsraumes augenblicklich wahrnehmen.



Wie die Verdichtungsarbeit eines sich selbst überlassenen Nebels beginnt und fortschreitet, haben wir bereits gesehen. Es ist auch leicht zu zeigen, daß der Nebel dabei allmählich Kugelform annehmen muß. Die ungewöhnlich weit über das Schwerezentrum hinausreichenden Bahnen der Massenteilchen müssen große Exzentrizitäten haben, d. h. in ihrem Perihel, wenn es erlaubt ist, diesen Ausdruck schon jetzt anzuwenden, dem dichtesten Teil des Nebels sehr nahekommen, bevor ihre Bewegung den größten Widerstand erfährt. Die hier sich häufenden Störungen verringern beständig die Exzentrizität, und erst wenn aus den elliptischen nahezu Kreisbahnen geworden sind, finden keine Störungen mehr statt. Sind aber alle Bahnen kreisförmig und alle Lagen derselben gleich wahrscheinlich, so ist dadurch ein kugelförmiger Nebel geschaffen.

Ursprünglich müssen auch alle Bewegungsrichtungen, also rechtläufige und rückläufige, gleich wahrscheinlich sein; der Nebel besitzt keine Rotation. Seine Verdichtung schreitet aber dessenungeachtet beständig fort, weil unter dieser Voraussetzung ganz in der Nähe eines in einer bestimmten Entfernung vom Zentrum rechtläufig kreisenden Massenteilchens auch ein rückläufiges vorhanden ist, mit dem es leicht Gelegenheit bekommen kann, zusammenzustoßen, wodurch die Bewegungsenergie der kollidierenden Körper aufgehoben wird und beide vereint gegen das Zentrum fallen müssen. Sind genau ebensoviel rechtläufige wie rückläufige Partikel vorhanden, eine Annahme, die etwas Absolutes und deshalb in der Welt sicher nicht ganz Verwirklichtes enthält, so kann mit dem Körper weiter nichts geschehen, wenn er von außen keiner neuen Einwirkung ausgesetzt wird. Alle rechtläufigen werden nach und nach mit sämtlichen rückläufigen Körpern zusammengestoßen und gegen das Zentrum hingefallen sein, bis sich alles zu einer maximalen Dichte zusammengezogen hat. In Wirklichkeit wird nun die Bedingung der genau gleichmäßigen Verteilung der rechtläufigen und rückläufigen Bahnen niemals genau erfüllt sein; dies bedeutet dann nichts anderes, als daß unser werdender Weltkörper schon von vornherein eine wenn auch noch so langsame R o t a t i o n haben muß, die sich durch den Überschuß etwa der rechtläufigen gegen die rückläufigen Bahnen ausdrückt.

Nehmen wir an, in einer bestimmten Entfernung vom Zentrum bewegten sich sieben Körper rechtläufig mit der ihnen durch das Newtonsche Gesetz vorgeschriebenen Geschwindigkeit und fünf Körper mit derselben Geschwindigkeit rückläufig. Soll dann von der hier vorhandenen Strömung ein Körper fortbewegt werden, so würde er innerhalb $7 + 5 = 12$ Zeiteinheiten eine Strecke von $7 - 5 = 2$ Wegeinheiten weitergeschoben werden, d. h. im ganzen eine Geschwindigkeit von 2:12, also ein Sechstel der gewählten Einheit besitzen. Wir sahen aber, wie im Laufe der Zeit je ein rechtläufiges und ein rückläufiges Massenelement zusammenstoßen und gegen das Zentrum hinfallen mußten; nach einiger Zeit werden also in der ins Auge gefaßten Entfernung nur noch sechs rechtläufige und vier rückläufige Elemente kreisen. Die Geschwindigkeit ist nun gleich $(6-4):(6+4)$ oder gleich ein Fünftel; sie hat inzwischen zugenommen. Nach weiterer Ausmerzung eines Paares ergibt unsere Rechnung $(5-3):(5+3)$ oder ein Viertel. Bei Vernichtung der entgegengerichteten Bewegungen des nächsten Paares ergibt sich ein Drittel, dann ein Halb und schließlich Eins, sobald alle rückläufigen Massenelemente verschwunden sind. Aus dieser einfachen Betrachtung folgt also nur, was durch komplizierte theoretische Untersuchungen aus dem Newtonschen Gesetze abgeleitet worden ist, daß nämlich Körper mit rückläufiger Bewegung durch beständig sich häufende Störungen nach Möglichkeit aus dem System gewiesen werden (vgl. S. 609).

Wir wissen auch, daß gegenüber früheren, nicht die letzten Konsequenzen berücksichtigenden Untersuchungen die Unmöglichkeit dauernd rückläufiger Körper nicht aus dem Newtonschen Gesetze folgt. In Wirklichkeit ist ja in dem Saturnsatelliten Phoebe ein Beispiel eines permanenten rückläufigen Körpers in unserem System gegeben. Die Existenz dieser Phoebe läßt sich in die Kant-Laplacesche Weltbildungsidee absolut nicht mehr einreihen. Eine weitere Ausnahme machen die vereinzelten geringfügigen Massenvereinigungen, die wir in unserem Sonnensystem als rückläufige Kometen kennen lernten, und die wir als letzte Reste des einstmaligen Nebels anzusehen haben, die, von sehr entfernten Ausläufern desselben herrührend, von der Verdichtungstätigkeit des großen Weltgebildes nur selten kräftiger beeinflußt werden konnten.

So haben wir inzwischen aus dem chaotischen Nebel einen kugelförmigen, nach seiner Mitte zu kondensierten sogenannten planetarischen Nebel und damit eine zweite Art von rings über den Himmelsraum verbreiteten Weltkörpern entstehen sehen. Mit der vorhin gemachten Annahme einer vorherrschenden Bewegungsrichtung ist der Kugel zugleich eine Umdrehungsachse mit den zugehörigen Polen und ein Äquator gegeben. Geometrisch ausgedrückt bedeutet dann das Vorherrschen einer Richtung, daß die Bahnneigungen der Massenelemente sich um eine bestimmte Ebene so gruppieren, daß geringe Neigungen zu dieser am häufigsten vorkommen; Neigungen über 90 Grad gehören bereits rückläufigen Körpern an. Wir wissen, daß die Störungen solcher Körper um so größer werden, je mehr sie die Eigenschaft der Rückläufigkeit haben, d. h. je größer die Neigungen ihrer Bahnen sind. Auch atomistisch ist dies ohne weiteres zu verstehen: die Zusammenstöße zweier Massenelemente werden um so mehr Bewegungsenergie gegenseitig zerstören, je verschiedener die Richtungen der zusammenstoßenden Körper sind. Sind zunächst die eigentlich rückläufigen Körper, d. h. solche mit Bahnen von Neigungen über 90°, ausgemerzt, so werden die betreffenden Wirkungen doch immer noch weiter fortgesetzt und nun die um 90° herumliegenden am meisten beeinflußt. Die Zusammenstöße verkleinern die Bahnen dieser Körper am meisten gegenüber den anderen. Da diese Bahnen um 90° herum die Körper zum Pol der Kugel hinführen, so sehen wir, daß sich diese hier allmählich abplatten muß. Es wird aus der Kugel ein Ellipsoid und schließlich ein linsenförmiger Körper. Eine dritte Art von Himmelskörpern, die elliptischen und schließlich ganz langgestreckten Nebel, wie sie in den Zeichnungen auf unserer Tafel bei S. 361 dargestellt sind, reihen sich der Stufenfolge unseres Weltentwickelungsganges an.

Es läßt sich aber weiter zeigen, daß unser elliptischer Nebel eine wirbelförmige Bewegung annehmen muß, auch wenn er noch ferner sich selbst überlassen bleibt. Wie wir nämlich früher erfahren haben, ist die Anziehungskraft, die ein Massenteilchen innerhalb eines größeren kugeligen Massenkomplexes erfährt, unabhängig von derjenigen Masse, deren Entfernung vom Zentrum größer ist als die des in Betracht gezogenen Massenteilchens. Daraus folgt, daß innerhalb eines homogenen Körpers von sonst beliebiger Konstitution die Schwerkraft nach dem Zentrum hin beständig abnehmen muß, und zwar genau im Verhältnis des Radius, da die Masse hier gleichbedeutend mit dem Volumen im Verhältnis seiner dritten Potenz abnimmt, die Schwerkraft aber nur mit der zweiten Potenz desselben wächst. Vergleichen wir die Tangentialgeschwindigkeit, die nach den obigen Erörterungen dieser Schwerkraft in den verschiedenen Entfernungen vom Zentrum genau die Wage halten muß, so ergibt sich, daß bei einem Körper mit sehr großem Durchmesser sich bei seinem Kleinerwerden

diese Geschwindigkeit zunächst verlangsamen und erst bei einem bestimmten Verhältnis des Durchmessers zur ganzen Masse wieder beschleunigen muß. Die äußeren Partien des Nebels eilen den inneren voraus, die Bewegungsverhältnisse sind also in diesem Stadium der Entwickelung gerade umgekehrt wie in dem fertigen Zustand eines Planetensystems gleich dem unsrigen, in dem die Hauptmasse sich im Zentrum vereinigt hat. Daß durch ein solches Vorauseilen, das nur bis zu einer gewissen Tiefe stattfindet, spiralige Windungen der Materie entstehen müssen, ist unmittelbar einzusehen, ebenso, daß sich schließlich ein äußerer Ring von der inneren Zentralmasse loslösen muß. Wir haben damit die Spiral- und die Ringnebel entstehen sehen.

Schon bei Beschreibung der typischen Formen der Nebelflecke (S. 354 u. f.) machten wir darauf aufmerksam, daß bei vielen Spiralnebeln sich ein anderer kleinerer Nebel befindet, der mit den Windungen des ersteren in einem Zusammenhange steht, der auf ein Zusammentreffen beider Nebel und ein Mitreißen der Materie des einen durch den anderen hindeutet. In der Tat ist ein solcher Zusammenstoß zweier Weltkörper um so häufiger zu erwarten, je ausgedehnter sie noch sind, d. h. also in je früherem Entwickelungszustande sie sich befinden. Wir haben es von vornherein vermieden, weder die Unendlichkeit, noch irgendeinen absoluten Zustand der Materie oder des gesamten Weltgebäudes in unsere Betrachtungen einzufügen. Wir haben also auch immer nur einen Teil der Weltmaterie in irgendeinem begrenzten Gebiet des Raumes sich heranbilden lassen und dürfen deshalb den Einfluß, den andere Weltkörper auf ihn während dieser Entwickelung üben, nicht aus den Augen lassen. Gleichwie wir nun seine kleinsten Teile durch ihre beständigen Zusammenstöße untereinander oder mit den von außen her eindringenden Ätheratomen sich nach denselben Gesetzen ordnen sahen, die auch die Bewegungen und Gruppierungen der allergrößten Materiekomplexe lenken, so müssen wir auch den Zusammenstoß zweier Weltkörper nicht nur als möglich, sondern als notwendig anerkennen. Wir kennen sogar schon Beispiele dafür, daß viele himmlische Ereignisse, wie namentlich das Aufleuchten gewisser neuer Sterne (s. S. 412 u. f.), nicht anders als durch solche Zusammenstöße erklärt werden können. Dringt nun ein Nebel in einen anderen von außen her ein, so muß die entstehende Wirbelbewegung an den äußeren Grenzen des größeren Nebels am stärksten sein. Also auch in diesem Falle haben wir die schnellsten Bewegungen an der Oberfläche. Der zweite Körper braucht sich auch bloß dem größeren besonders zu nähern, so würde die gegenseitige Anziehungskraft allein solche Wirbelbewegungen erzeugen.

Die Bewegung des vordringenden kleineren Nebels wird überdies durch die Anziehungskraft des größeren beeinflußt. Man kann sich wohl denken, daß der erstere gewissermaßen von Anfang an zu dem größeren gehörte als eine besonders dichte Stelle, um die sich die Materie wie um ein zweites Zentrum scharte. In diesem Falle ist seine elliptische Bewegung von vornherein gegeben. Aber auch wenn dieser Körper von außen her kam, kann sich seine zuerst hyperbolische Bewegung durch den Widerstand, den die beiden sich teilweise durchdringenden Gasmassen aufeinander üben, in eine elliptische verwandeln. In beiden Fällen ist der Keim zu einem ersten Planeten gelegt.

Allen den Vorgängen, die wir bisher verfolgten, ist räumlich keine bestimmte Grenze gesetzt. Ungeheure Gebiete des Raumes, wie sie z. B. der Orionnebel mit seinen umgebenden Spiralen einnehmen mag, können ebensowohl von diesem Entwickelungsgange ergriffen werden wie kleinere Gebiete, die entweder selbständig im Raume schweben oder

einem solchen größeren Nebelgebilde insoweit angehören, als sie einen besonderen Knoten, eine von Anfang an dichtere Stelle in ihm ausmachten. Im letzteren Falle würde der kleinere Körper mit dem großen, dessen Teil er bildet, einen parallelen Entwickelungsgang durchlaufen; er kann gewissermaßen als ein Molekül des letzteren angesehen werden. Damit ist erklärt, daß es einerseits planetarische, elliptische, spiralige und Ringnebel gibt, die bei genauerer Untersuchung in einzelne Sterne zerfallen, daß anderseits innerhalb des großen Spiralnebels, der unser Milchstraßensystem bildet, Sonnensysteme wie das unsrige entstanden sind, und daß schließlich sogar in diesem System wieder ein sekundärer Körper existiert, der Saturn, der abermals einen Ring besitzt, in dem sehr kleine Körper in derselben Weise nach Maßgabe des Newtonschen Prinzipes umlaufen wie die Atome in dem ursprünglichen Nebel. Freilich ist dieser Saturnring selbst, wie der Verfasser schon 1893 zeigte und neuerdings (1907) der englische Analytiker George Darwin unabhängig von ihm rechnerisch dartat, nicht als ein Stadium der Entwickelung, sondern des Zerfalls eines Weltkörpers anzusehen. Wir kommen hierauf zurück.

Wie aus Ringen schließlich ein einzelner Körper wird, ist leicht zu ersehen. Die umlaufenden Körper müssen sich gegenseitig störend beeinflussen, da sie auch gegeneinander schwer sind. Herrscht keine absolute Gleichmäßigkeit der Größe und des mittleren Abstandes dieser Körper, so wird hier die Auslese gleichfalls ihren Fortgang nehmen; die zu nahe aneinander vorüberstreifenden werden sich unter dem Einfluß der übrigen immer mehr einander nähern, bis sie sich endlich aneinanderlegen, nun aber nicht mehr mit allzu heftigem Stoße, da sie beide nahezu die gleiche Geschwindigkeit und Bewegungsrichtung haben. Sie verlieren ersichtlich dabei nur wenig Energie und kreisen gemeinsam als vergrößerter Körper weiter um das Zentrum der größeren Masse, der sie angehören. Die von Anfang an größeren Körper dieses Ringes ziehen die kleineren am kräftigsten an und vereinigen sie mit sich. Die Auslese schreitet zu immer größeren Körpern fort, bis schließlich der größte alle übrigen in sich aufgenommen hat und nun als *planetarischer Körper* das Zentrum seines Systems umkreist.

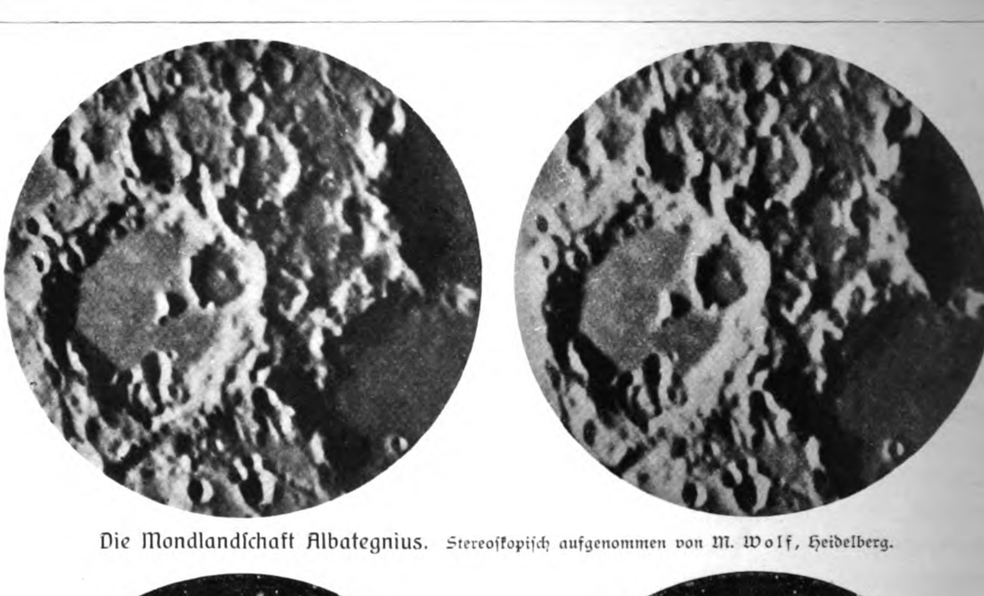
Es mag hier erwähnt werden, daß eine interessante theoretische Untersuchung des Amerikaners Stockwell gezeigt hat, daß zwei Körper, die im gleichen Abstande einen dritten umkreisen, sich einander merkwürdigerweise nicht anziehend beeinflussen, sondern so lange scheinbar abstoßen, bis sie in ihrer gemeinschaftlichen Bahn einen Abstand von 60° voneinander erreicht haben, wodurch die drei Körper ein gleichseitiges Dreieck bilden, in welcher gegenseitigen Lage sie verharren. Dadurch ist die Beständigkeit einer Ansammlung von nahezu gleichgroßen Körpern als Ring, wie sie bei den Saturnringen vorliegt, theoretisch erklärt. Die Körper ordnen sich zu Paaren, die sich einander in der Entfernung von 60° festhalten. Ein aus *gleichmäßig verteilter* Materie bestehender Ring, wie ihn die Laplacesche Hypothese voraussetzt, könnte sich also niemals zu einem Planeten oder Mond zusammenballen. Unsere Voraussetzungen aber machen eine solche gleichmäßig verteilte Materie eben unmöglich. Wenn in einem solchen Ringe, oder besser einem Arme der entstandenen Spirale, irgendwo ein vorherrschender Massenknoten besteht, so muß dieser Knoten kleinere Körper, die sich ihm so weit nähern, daß seine Anziehungskraft die des dritten, also des Zentralkörpers, überwiegt, notwendig mit sich vereinigen, ebenso wie die Planeten Kometen einfangen und Meteoriten auf die Erde fallen. Denn die hier in Betracht kommenden besonderen Bewegungshemmungen sind überall, namentlich in den ersten Stadien der Weltbildung, als vorhanden anzunehmen.



Je nach der Größe des ursprünglichen Ringes kann diese Vereinigung zu einer Zeit geschehen, zu welcher der Verdichtungsprozeß beider getrennten Massen noch nicht genügend vorgeschritten ist, um sie über den Zustand der Gasnebel hinauszubringen; wir haben dann Doppelnebel vor uns, wie es deren am Himmel eine ganze Anzahl gibt. Oder es kann die Dichtigkeit beider Massen und die pendelnde Bewegung ihrer Moleküle, die durch ihre teilweise Unfreiheit entsteht, bereits so weit vorgeschritten sein, daß sie intensiver zu leuchten beginnen, d. h. zu Sonnen geworden sind. Wie dann bei immer weiterer Verdichtung und immer größerer Unfreiheit ein feuerflüssiger und schließlich ein fester Zustand der Materie eintritt, lehrt die Physik.

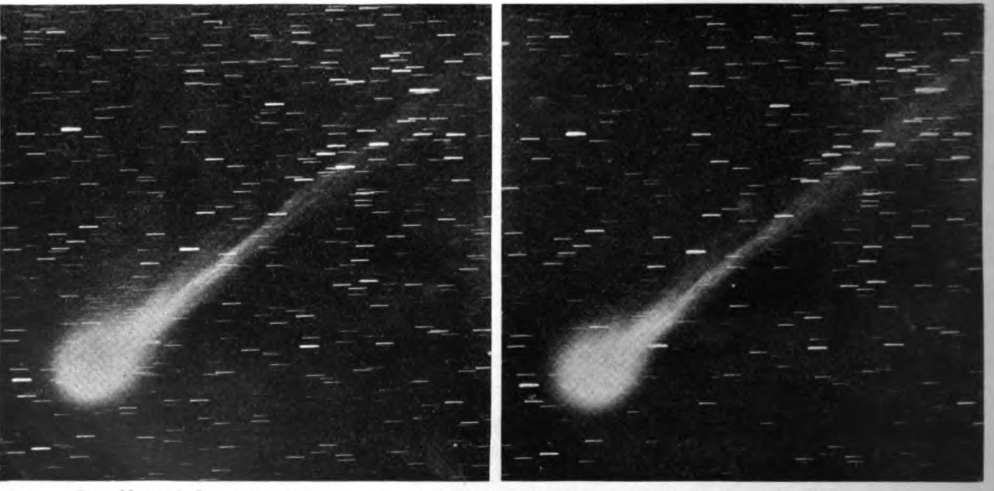
Die Vereinigung der letzten, größten Massen eines solchen planetenbildenden Ringes miteinander kann wohl zu einer Zeit stattgefunden haben, als diese Körper schon feuerflüssig oder gar mit einer festen Kruste versehen waren. Im ersteren Falle wird eine Spur des Vorganges nicht zurückbleiben; im letzteren jedoch würden auf der Oberfläche des größten Körpers durch den Aufsturz der kleineren Kugeln Gebilde entstehen müssen, die den kreisförmig umwallten Mare-Ebenen, den Ringgebirgen oder schließlich den kleinen Kratergruben auf dem Monde äußerst ähnlich sind, wie sie auch auf der Seite 528 beigehefteten Tafel, die zugleich den Eindruck einer totalen Sonnenfinsternis auf dem Monde veranschaulicht, dargestellt sind. Wir haben bei Gelegenheit der Beschreibung der Mondoberfläche bereits dargetan, daß die großen Wallebenen nicht auf Wirkungen zurückzuführen sind, die von innen her, den vulkanischen Vorgängen auf unserer Erde vergleichbar, stattfinden. Ganz besonders spricht hiergegen ihre ungeheure Ausdehnung und der ausnahmslos tiefer als die Umgebung liegende Kraterboden. Sehr schön zeigt diese Reliefgestaltung der Mondoberfläche unsere stereoskopische Ansicht auf der hier beigehefteten Tafel. Sie ist dadurch erhalten, daß man dieselbe Mondgegend an verschiedenen Tagen unter verschiedenen Librationswinkeln (S. 71) aufnahm, wodurch die Sehlinie sich in entsprechender Weise veränderte, um den stereoskopischen Effekt zu erzeugen. (Die Tafel enthält auch noch zwei andere Aufnahmen, die es gestatten, einen räumlich gestaltenden Blick in ferne Himmelsräume zu werfen. Das zweite Bild stellt Saturn dar. Das rechte Bild ist am 9. Juni 1899, das linke einen Tag später aufgenommen. Wir sehen deshalb hier in den Himmelsraum so, als ob zwischen unseren beiden Augen eine Entfernung läge, die gleich dem Wege der Erde ist, den sie in einem Tage zurücklegt. Der Ring des Saturn ist durch Überstrahlung mit der Planetenscheibe verschwommen, aber man sieht deutlich, wie Saturn selbst weit vor den unendlich entfernten Fixsternen steht, und wie einer seiner Monde etwas vor, der andere hinter dem Planeten schwebt. Dem Kometen auf dem dritten Bilde, zwischen dessen beiden Einzelaufnahmen eine Zeit von nur 1 Stunde 20 Minuten lag, sieht man seine körperliche Gestalt deutlich an und erkennt, daß der Schweif in größere Tiefen des Weltraumes hinausreicht als der Kopf.)

Man hat sehr interessante Versuche gemacht, die Mondkratergebilde künstlich herzustellen. Unter ihnen ragen die des Physikers Ebert hervor, die allerdings auf den ersten Blick doch für die vulkanische Natur der Mondkrater zu sprechen scheinen. Ebert ließ eine sehr leichtflüssige Metallegierung stoßweise aus einer Öffnung hervorsprudeln und dabei erkalten; es bildeten sich dabei in der Tat Ringwälle um eine tiefliegende Ebene, so wie wir sie hierneben abgebildet haben. Ganz ähnliche Erscheinungen zeigen auch auf der Erde die Schlammvulkane, z. B. im Yellowstonepark, und es soll keineswegs bestritten



Die Mondlandschaft Albategnius. Stereoskopisch aufgenommen von M. Wolf, Heidelberg.

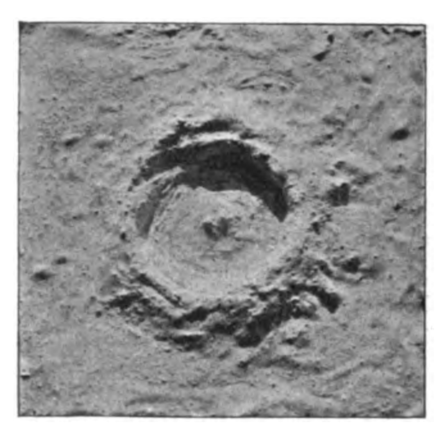
Saturn mit zwei Monden. Stereoskopisch aufgenommen von M. Wolf, Heidelberg.



Der Komet Perrine. Stereoskopisch aufgenommen von M. Wolf, Heidelberg, am 25. Oktober 1902.

Stereoskopische Aufnahmen von Weltkörpern.

werden, daß eine große Anzahl der nach Hunderttausenden zählenden derartigen Gebilde der Mondoberfläche in dieser Weise wirklich entstanden sind. Gebilde aber von der Ausdehnung der Mare-Ebenen, wie das Mare Crisium oder auch die Wallebene des Plato, können unmöglich auf diese Weise erklärt werden. Man sieht hier nirgends eine Spur von einem Zentralkegel, der doch ganz ungeheure Dimensionen hätte annehmen müssen, wenn von ihm die meilenweit sich ringförmig ausdehnenden Wellen ausgehen sollten. Für den Aufsturz kugelförmiger Massen auf die Oberfläche des Mondes und die dadurch erzeugte Bildung von den sogenannten Kratern sprechen auch die Strahlensysteme, die ausschließlich von Kratern ausgehen und in ihrem ganzen Aussehen durchaus den Sprüngen ähnlich sind, die z. B. durch einen kräftigen Steinwurf gegen eine Fensterscheibe entstehen. Die Sprünge wurden durch das von unten sofort wieder nachfließende Magma ausgefüllt, dessen erstarrende Oberfläche glatt, glänzender blieb als die übrige, ältere grauere Mondoberfläche. Endlich deuten auch die mehrfach auf dem Monde vorkommenden, ganz geradlinig verlaufenden Quertäler, die sonst mit dem gebirgigen Charakter der Umgebung in keinerlei tektonischem Zusammenhange stehen (der charakteristischste Repräsentant hierfür ist das große Quertal in den Alpen, s. S. 88), auf vorüberrasende Körper hin, welche die Oberfläche streiften.



Künstlicher Mondkrater. Nach Ebert.

In neuerer Zeit eröffnet in bezug auf die Erklärung der Eigentümlichkeiten der Mondoberfläche das Radium eine interessante Perspektive. Dieses beständig Wärme abgebende Element, das durch seine „Emanation" in allen irdischen Stoffen enthalten ist, wird auch auf dem Monde in entsprechenden Mengen vorhanden sein. Unter dieser Voraussetzung hat nun Strutt gezeigt, daß hierdurch der Wärmeverlust, den die Erde sowohl wie der Mond infolge Ausstrahlung in den Weltraum erleidet, durch das Vorhandensein des Radiums allein völlig ersetzt werden kann, und daß dann die Wärmezunahme nach dem Inneren (die „geothermische", beziehungsweise „selenothermische Tiefenstufe") beim Monde noch eine weit schnellere sein müsse als bei der Erde. Schon bei etwa 7 km unter der Mondoberfläche müßte deshalb eine Hitze herrschen, die dem flüssigen Magma des Erdinneren gleichkommt. Bei einer soviel geringeren Dicke der festen Kruste des Mondes ist also ein Durchschlagen derselben beim Aufsturz eines Fremdkörpers und ein Empordringen des flüssigen Inneren daraus viel leichter möglich als bei der Erde. Auch die rein vulkanischen Erscheinungen würden hiernach natürlich wesentlich erleichtert. Man begreift auch, daß die ganze Mondoberfläche durch die größere Nähe des Feuerflüssigen unter ihr eine größere Plastizität als die Erdoberfläche bewahrt haben muß und deshalb Verschiebungen ihrer ursprünglichen Schollen gegeneinander noch leichter erfolgen können, durch die Loewy und Puiseux eine Reihe der Eigentümlichkeiten der Mondoberfläche zu erklären versucht haben. Insbesondere wäre durch ein Tiefersinken einzelner Schollen, wie wir es in den Mare-Ebenen konstatieren, ein Überfluten der darin vorhandenen Reliefgestaltungen, z. B. der Ringgebirge, durch aus dem Inneren dringendes Magma leicht

zu verstehen. Solche zum größten Teil „ertränkten" Ringgebirge sehen wir namentlich an den Rändern der Mare-Ebenen sehr häufig.

Gegenwärtig scheint der Prozeß der Reinigung der Mondbahn von der einstmals hier verteilten Materie fast vollendet zu sein, wenigstens gibt es in dem betreffenden Abstand vom Erdmittelpunkte keinen zweiten Körper von für uns wahrnehmbaren Dimensionen, den der Mond noch in sich aufzunehmen hätte. Kleinere Körper von Meteoritengröße, deren Masse seit Beginn des Bildungsprozesses dem Ringe angehörten, mögen auch jetzt noch dort schweben und gelegentlich zur Bildung eines neuen Kraters Anlaß geben. Mit dem Ringe dagegen, aus dem die Erde entstand, ist es noch nicht soweit gediehen, denn der Mond ist hier noch als zweitgrößter Massenknoten des ursprünglichen Ringes übriggeblieben. Die Erde hat ihn schon längst in ihre Nähe gefesselt, aber wir haben anderseits bereits gesehen, daß der Mond eine fast selbständige, gegen die Sonne nur leicht wellenförmige planetarische Bahn beschreibt. Immer mehr wird die Erde diesen ihren Trabanten zu sich heranziehen. Wenn auch die wahrgenommene säkulare Beschleunigung der Mondbewegung, von der wir auf S. 548 sprachen, noch nicht mit Sicherheit auf die hemmende Wirkung eines widerstehenden Mittels (das im Grunde nichts anderes bedeutet als die hemmenden Stöße, aus denen wir die Ordnung der Welt sich aufbauen sahen) zurückgeführt werden konnte, so kann doch kein Zweifel darüber sein, daß sie in dem Weltraume, wie wir ihn kennen, stattfinden muß. Schon vor langen Zeiten hat die Erde den Mond in seiner Rotationsbewegung festgehalten; als seine Oberfläche noch glühendflüssig war, rollte bei jeder Umdrehung des Mondes um seine Achse eine ungeheure Flutwelle, welche die Erdanziehung hervorbrachte, um ihn herum. Diese inzwischen erstarrte Flutwelle wurde eine beständige Hemmung der Umdrehungsbewegung des Mondes um seine Achse, und heute pendelt diese, wenn auch für uns fast unmerkliche Verlängerung des Mondes nur noch um ihre Mittellage hin und her, wodurch die sogenannte Libration entsteht, die uns etwas mehr als die Hälfte, etwa vier Siebentel seiner Oberfläche, zu Gesicht bekommen läßt.

G. H. Darwin hatte seinerzeit theoretisch nachweisen zu können geglaubt, daß bei Anwendung des reinen Newtonschen Prinzips das gegenseitige Spiel der Anziehungskräfte zwischen Erde und Mond schließlich dahin führen muß, daß der Mond sich der Erde so weit nähert, bis nach dem dritten Keplerschen Gesetze seine Umlaufszeit gleich der Länge des Erdentages geworden ist, welch letzterer aber sich inzwischen vergrößert hat. Erst wenn beide Körper sich so bewegen, als ob sie an unsichtbaren Banden fest zusammengeschmiedet wären, so daß beide sich stets während des gemeinsamen Umschwunges dieselbe Seite zukehren, sei ein völliger Gleichgewichtszustand hergestellt. Danach könnten also die Monde niemals auf ihre Planeten und diese niemals auf ihre Sonnen stürzen, was gegen die Aufsturztheorie geltend gemacht worden ist. Inzwischen hat aber Stockwell gezeigt, daß diese Untersuchungen auf falschen Voraussetzungen beruhen. Aber auch abgesehen von allen solchen theoretischen Betrachtungen, die niemals alle vorhandenen Umstände berücksichtigen können, müssen die Wirkungen des zweifellos vorhandenen widerstehenden Mittels notwendig beständige Verkürzungen der Umlaufszeiten hervorbringen, welche schließlich die Vereinigung der Körper bewirken. Für die Welt des Mondes sowohl wie für unsere schöne Erdenwelt bedeutet diese Vereinigung den Untergang; der Zusammenstoß des Mondes mit der Erde muß eine ungeheure Wärmemenge hervorbringen, die beide Körper zu einem zusammenschmelzen würde. Wir haben die weiteren Phasen dieser Entwickelung noch zu besprechen.



Nach unserer Weltbildungsidee müssen ehemals noch andere, größere Körper als der Mond in der Nähe der Erdbahn gekreist haben, die gleichfalls mehr oder weniger als Trabanten der Erde anzusehen waren. Ebenso wie derartige Massen auf den Mond stürzten und dort die Wallebenen bildeten, müssen deren auch mit der Erde zusammengestoßen sein. Wenn sich aber auf der Erde keine den Mondkratern ähnliche Gebilde vorfinden, so hat dies seinen Grund darin, daß sie als größerer Körper langsamer als der Mond auf ihrer Oberfläche erkaltet ist und folglich um jene Zeit, als auf dem Monde merkliche Spuren solcher Zusammenstöße zurückbleiben mußten, noch keine feste Oberfläche gebildet hatte. Auch haben wir vorhin gesehen, daß durch die Wirkung des Radiums die zwar früher hergestellte Mondkruste doch dünner, also weniger widerstandsfähig blieb, als die der Erde. Kleinere Körper mußten ohnedies, wie heute die *Meteoriten*, durch die Atmosphäre der Erde in ihrem Laufe gehemmt werden, so daß die Wucht ihres Anpralles weit geringer war als beim Monde, der auch in früheren Zeiten vermutlich nur eine Atmosphäre von geringer Dichte besessen hat. Existierte indes ehemals noch ein zweiter Mond der Erde, der in einer geologisch nicht allzu fern liegenden Vergangenheit auf die Erde herabgestürzt ist und dabei die Lage der Erdachse verschoben hat, so wäre damit das sonst ungelöste Rätsel der *Klimaschwankungen* in den geologischen Epochen, insbesondere das einstmalige Vorkommen von palmenartigen Gewächsen in Gegenden, die heute eine monatelange Polarnacht haben, gelöst. Die gegenwärtig noch festzustellenden *Polschwankungen* (s. S. 480 u. f.) wären dann die letzten Reste jener Stoßwirkung, die sich in immer kleiner werdenden Bewegungen der Erdachse auf einem Kegelmantel darstellen muß. Nehmen wir die bisher entwickelte Weltbildungsansicht an, so ist das ehemalige Vorhandensein eines zweiten und selbst noch *vieler anderer Monde der Erde* eine Notwendigkeit, und nur über den Zeitpunkt, zu dem der zweitletzte dieser Monde auf die Erde stürzte, kann nichts ausgesagt werden. Die Resultate der geologischen Forschung werden vielleicht einmal hierüber bestimmtere Aufschlüsse geben können, als es der Astronom vermag.

Von kleinen Materiepartikeln ist übrigens die Erdbahn auch jetzt noch nicht frei; wir wissen, daß nach den neuesten Ansichten der Gürtel des *Tierkreislichtes* sich nicht anders erklären läßt als durch das Vorhandensein von Milliarden kleiner Körper, die die Sonne als ein linsenförmiger Körper umgeben, der noch ein wenig über die Erdbahn hinausreicht. Fortwährend nimmt die Erde von jenen Partikeln in sich auf. Der *Sternschnuppenregen*, der sich aus allen Teilen des Himmels beständig auf die Erde ergießt, stellt zum großen Teile diese unausgesetzte Vereinigungsarbeit der Erde, durch die sie ihren Leib beständig vergrößert, deutlich vor Augen.

Wie wir vorhin gesehen haben, muß die Geschwindigkeit der einzelnen Teile des elliptischen oder linsenförmigen Nebels von außen nach innen abnehmen, solange keine sehr wesentliche Zusammenziehung der Gesamtmasse eingetreten ist. Indem sich aber aus einem losgelösten Ringe durch Zusammensturz seiner einzelnen Partikel ein Planet bildet, müssen die in größerem Abstande vom Zentrum kreisenden Teile, da sie sich schneller bewegen, mit größerer Kraft auf den sich bildenden Körper stoßen als die den inneren Partien des Ringes angehörenden. Es entsteht durch dieses Übergewicht eine *Rotation des sich bildenden Planeten* in dem Sinne, in dem wir die Planeten in Wirklichkeit um ihre eigene Achse rotieren sehen. Die der Sonne in einem bestimmten Momente abgewendete Halbkugel aller Planeten bewegt sich um ihre Achse in derselben Richtung, in

der die Bewegung des Planeten selbst in seiner Bahn erfolgt; er rollt also gewissermaßen auf seiner Bahnlinie. Die Rotationsachse muß zunächst senkrecht auf der Bahnebene stehen, und die Schiefe der Ekliptik muß ursprünglich für alle Planeten gleich Null gewesen sein. Noch gegenwärtig ist mit Ausnahme des Uranus dieser Wert bei keinem Planeten sehr groß. Wie die heute vorhandene Abweichung entstehen konnte, ist vorhin angedeutet worden. Über die Rotationsgeschwindigkeit von Neptun und Uranus ist wenig bekannt; Anzeichen beim letzteren sprechen für eine ähnlich kurze Rotationsdauer, wie sie bei Saturn und Jupiter festgestellt worden ist. Der Gürtel der kleinen Planeten bildet dann eine scharfe Grenze zwischen den größeren Planeten mit schneller Rotation und den kleineren, inneren, mit langsamer Rotation. Wir wissen, daß bei Merkur und vielleicht auch bei Venus die Rotationsdauer gleich der Periode des Umlaufs um die Sonne ist. Diese Abnahme der Rotationsgeschwindigkeiten im Planetensystem von seinen äußeren Grenzen nach innen erklärt sich unmittelbar aus unserer Weltbildungsansicht; denn die Differenz der Geschwindigkeiten zwischen dem äußeren und dem inneren Teil eines planetenbildenden Ringes mußte immer geringer werden, je mehr die Masse des ganzen Weltgebildes sich in seinem Zentrum vereinigte, oder auch, je kleiner die Ringkörper wurden. Bei der gegenwärtigen Anordnung der Materie nimmt bekanntlich die Geschwindigkeit mit kleiner werdendem Radius im Gegenteil zu. Würden sich heute beispielsweise aus den Ringen des Saturn noch Satelliten dieses Planeten bilden, so müßten diese, da (insbesondere nach den spektrometrischen Untersuchungen Keelers) die Geschwindigkeit der einzelnen Teile des Ringes gegen das Zentrum hin nach Maßgabe des dritten Keplerschen Gesetzes zunimmt, sich in umgekehrter Richtung um ihre Achse drehen, als es bei den Planeten der Fall ist. Wir dürfen also mit Wahrscheinlichkeit annehmen, daß auch die Ringe, aus denen Merkur und Venus entstanden sind, ähnlich wie die Ringe des Saturn bereits in einem sonst von Materie ziemlich freien Raume die Sonne umgaben. Die geringfügige, vielleicht ursprünglich vorhanden gewesene Rotationsgeschwindigkeit dieser sonnennahen Planeten wurde dann bald durch die Reibung der kräftigen Flutwelle, welche die Sonne auf ihnen erzeugen mußte, gänzlich aufgehoben, so daß sie nun wahrscheinlich (nach Schiaparelli) dem Hauptkörper unseres Systems beständig dieselbe Seite zukehren, wie es aus gleichen Gründen der Mond in bezug auf die Erde und sehr wahrscheinlich auch alle übrigen Trabanten entsprechend tun.

In gleicher Weise, wie wir durch eine ungleiche Verteilung der Materie in dem linsenförmigen Urkörper oder durch einen Zusammenstoß desselben mit einem anderen den ersten planetenbildenden Ring oder Spiralzweig entstehen sahen, könnten wir auch die folgenden hervorgebracht denken. Es wären dann aber ebenso viele voneinander unabhängige Bedingungen oder Eingriffe von außen her nötig, als es Planeten gibt. In Wirklichkeit läßt sich indes zeigen, daß es nur eines ersten derartigen Eingriffes bedarf, um alle übrigen Planeten entstehen zu sehen. Wie wir seinerzeit ermittelt haben, treten die Trennungslinien in den Saturnringen an denjenigen Stellen auf, wo die Umlaufszeit eines dort befindlichen Körpers mit der eines der kräftigeren oder besonders nahe befindlichen Satelliten kommensurabel sein würde (s. Seite 606). Der erste, äußerste, im Entstehen begriffene Planet mußte in dem Gasballe, von dem er sich losgelöst hatte, notwendig ähnliche Trennungslinien erzeugen, und zwar die erste und kräftigste da, wo die Umlaufszeit eines Teils des Urkörpers die Hälfte der Umlaufszeit des ersten Planeten betragen haben würde. Die Umlaufszeit des Neptun beträgt etwas weniger als 165 Jahre; die Hälfte davon sind 82. Hier also wäre die innere

Grenze desjenigen Ringes anzunehmen, der den zweiten Planeten zu bilden hatte. Die äußere Grenze des Ringes ist nicht anzugeben, da man für die Zeitdauer der fortschreitenden Zusammenziehung des Urnebels keinen Maßstab hat. Jedenfalls mußte eine geraume Zeit zwischen der Bildung des ersten und des zweiten verstreichen und die Verdichtung des noch sehr wenig dichten Nebels weit vorgeschritten sein, denn die Bildung der Trennungslinie konnte erst geschehen, sobald die Masse des ersten Planeten sich wenigstens einigermaßen vereinigt hatte. Eine gleichmäßig über einen Ring verteilte Masse übt die in Frage kommende Störung nicht aus. Es ergibt sich also, daß der zweite Planet nicht sehr beträchtlich jenseits der inneren Grenze des zweiten Ringes entstehen mußte; und dies trifft bei Uranus völlig zu, dessen Umlaufszeit 84 Jahre beträgt, also nur um etwa zwei Jahre größer ist als die des inneren Randes des angenommenen Ringes. Für die folgenden Planeten werden die Verhältnisse zwar verwickelter, je mehr störende äußere Planeten zusammenwirken, um die weiteren Trennungslinien zu erzeugen, es läßt sich aber aus der ungefähren Gesetzlichkeit, die sich in den Abständen der Planeten von der Sonne offenbart (Bode-Titiussche Regel, S. 148), auf eine fortgesetzte ähnliche Wirkung schließen.

Wir haben durch die bloße Wirkung der Auslese unter den bewegten und ungleichmäßig im Raume verteilten Materieelementen ein geordnetes System von Weltkörpern entstehen sehen, das alle Besonderheiten aufweist, die wir in unserem Planetensystem beobachtet haben. Wir müssen dabei nochmals deutlich hervorheben, daß bei den vorangegangenen Entwickelungen keinerlei Annahme über den Aggregatzustand und die Größe der Materieelemente gemacht zu werden brauchte, unter deren Bewegung diese Auslese stattfinden mußte. Ob wir es dabei mit Molekülen eines Gasgemenges von geringer Ausdehnung oder mit Sonnenschwärmen eines ausgedehnten Milchstraßensystems zu tun hatten, mußte für den Erfolg gleichgültig sein. Es ist unserer Ansicht nach gar nicht zweifelhaft, daß wir Weltsysteme von derselben Art, wie wir sie am Himmel beobachten, in unseren Laboratorien gleichfalls entstehen sehen würden, wenn wir entsprechende Materiemengen, vom Einfluß der Erdschwere unabhängig, sich selbst überlassen könnten. Es ist sogar wahrscheinlich, daß zwischen den allerkleinsten Materieanhäufungen, die wir Moleküle nennen, und die bisher leider nur unser theoretisches Auge gesehen hat, auch angesichts der Erdschwere Bewegungen vor sich gehen, die denen der Himmelskörper dem Wesen nach gleichen, obgleich sie für uns nur als Wärme, Licht u. s. w. in die Erscheinung treten. Für die hier in Frage kommenden sehr kleinen Entfernungen der molekularen Körper ist es unzweifelhaft, daß die mit der Annäherung quadratisch zunehmende Anziehungskraft ganz bedeutend größer wird als die der Erde. Der Zusammenhang der einzelnen Teile eines festen Körpers unter sich beweist dies. Für einen solchen ist die Anziehungskraft der Erde mit derjenigen Kraft zu vergleichen, die das Sonnensystem und alle übrigen Sterne durch das Weltall treibt, und die von einer unbekannten Quelle für alle gemeinsam ausgeht.

Haben wir auf diese Weise eine Parallele nach unten gezogen, indem wir unzählige Weltsysteme kleinster Ordnung in einem Stecknadelkopfe vermuten, den wir in unserer Hand halten, so hindert uns durchaus nichts, eine gleiche Parallele nach oben zu verfolgen und es wenigstens nicht als unmöglich anzusehen, daß alle die Sonnenschwärme, die für uns den Himmel bis in seine letzten Tiefen bevölkern, ihrerseits wieder nur die sich zu Molekülen (Sonnensystemen) ordnenden Atome eines relativ kleinen Gegenstandes sind, der einer Welt allergrößter Dimensionen angehört. Mag uns auch bei diesem ungewöhnlichen



Gedankengange zu schwindeln beginnen gegenüber der unausdenkbaren Größe des Weltgebäudes, zu der er führt, so müssen wir doch unsere Bewunderung zügeln, denn nicht die Größe eines Gegenstandes verdient diese Bewunderung, und nicht durch diese Größe an sich sind unserer Fassungskraft Grenzen gesetzt, wenn wir sie nur nicht bis zur absoluten Unendlichkeit ausdehnen, sondern nur der umfassenden, überwältigend großartigen Ordnung, die unser forschendes Auge bis in die letzten Tiefen des Weltgebäudes entdeckt, und die das Ganze wie jeden seiner Teile zu immer höherer Vollendung und Einheitlichkeit führt, wollen wir unsere höchste Bewunderung zollen. Schon als wir erst im Begriffe standen, uns in jene Wunder der Himmelswelten zu vertiefen, von denen nun ein Bild in seinen hauptsächlichsten Zügen vor uns steht, betonten wir von vornherein, daß es die große Ordnung des Weltgetriebes ist, deren tiefere Erkenntnis wir anstreben wollen. Unsere letzten Betrachtungen haben uns inzwischen gezeigt, wie diese Ordnung eine notwendige Folge ganz einfacher Gesetze ist, daß es eine unaufhaltsame Eigenschaft der Materie ist, sich zu Weltsystemen zu ordnen, sobald durch eine irgendwo im Raume vorhandene Ungleichmäßigkeit ihrer Verteilung der erste Anstoß dazu gegeben wurde. Es ist wunderbar genug zu sehen, wie gerade der ordnungslose, chaotisch ungleichförmige Urzustand der Materie den Keim in sich trägt, aus dem die vollkommenste Ordnung und Gesetzmäßigkeit durch die unablässige Auslese des Widerstrebenden, des Schlechten vom Guten, erblühen muß. Der Materie, auch jener, die wir die tote nennen, wohnt ein unauslöschlicher, ewiger Drang, sich zur Vollkommenheit emporzuarbeiten, inne, der nicht aufhört, solange es noch irgendwo in der Welt bewegte Materie gibt, die sich nicht in völliger Gleichmäßigkeit über den ganzen Raum ausbreitet.

Freilich kann nirgends dieses Emporblühen zu immer höherer Ordnung in einem bestimmten Gebiete ein stetig fortschreitendes sein. Das Prinzip des Hin- und Herpendelns zwischen äußersten Grenzen, das erst allmählich in langgestreckte und dann sich immer mehr rundende Bahnen übergeht, die Extreme abschleifend, bekundet sich in allen Stufen des Naturgeschehens. Unsere irdische Natur schwankt zwischen Tag und Nacht, zwischen Sommer und Winter, zwischen Eiszeiten und Perioden üppiger Entfaltung der organischen Natur hin und her. Auch für die Ordnung der Weltsysteme wird es eine absteigende Linie neben der aufsteigenden überall geben. Betrachten wir die Entwickelung der organischen Natur, deren schönste Blüte die Hervorbringung intelligenter Wesen ist, als den Höhepunkt einer Weltentwickelung, wozu wir stets wohl geneigt, aber weniger berechtigt sind, so erblicken wir am Himmel einen Körper, der diesen Höhepunkt schon überschritten hat, wenn er ihn denn jemals erreichte, den Mond, auf dem Lebewesen höchstens von niederer Organisation, intelligente Wesen nicht mehr existieren. Sicherlich ist die Entstehung organischer Wesen und ihre Fortentwickelung an bestimmte Temperaturgrenzen gebunden, wo immer sie sich im Weltgebäude befinden mögen. Nach untenhin ist die Grenze durch die Unbeweglichkeit gegeben, welche die Materie bei Erreichung ihrer maximalen Festigkeit, die beim Nullpunkt der absoluten Temperatur (—273 Zentigrad) eintritt, zusammenhält. Schon lange vor Eintritt dieses Extrems vermindert sich in hohem Maße jede Tätigkeit der Materie. Die chemischen Reaktionen, die nach unserer atomistischen Anschauung nichts anderes bedeuten als ein Ineinandergreifen verschiedenartig organisierter kleinster Weltsysteme (Moleküle) und daraus entstehende veränderte Gruppierung bei der Vereinigung, verlangsamen sich und hören schließlich ganz auf. Die rege Wechselwirkung der einzelnen Teile eines Organismus unter sich, die

das eigentlich Bezeichnende des Lebendigen ist, muß deshalb mit der immer stärkeren Einschränkung, welche die Bahnen der Moleküle und ihrer Atome erfahren, einmal aufhören.

Damit ist die atomistische Erklärung des allmählichen Absterbens alles Lebens mit zunehmender Kälte gegeben. Je tiefer ein Organismus in der Stufenfolge der Entwickelung steht, desto geringer ist die Wechselwirkung, die seine einzelnen Teile miteinander verbindet. Deshalb ist es verständlich, daß die niederen Organismen größere Kältegrade zu ertragen befähigt sind als die höheren. Dies haben namentlich die Untersuchungen von Raoul Pictet gezeigt, der eine Reihe von gering organisierten Lebewesen Kältegraden bis zu 100 Grad zum Teil wochenlang aussetzte und dabei fand, daß diese Organismen ihre Lebensfähigkeit beibehielten, bezw. sich bei langsam fortschreitender Erwärmung je nach ihrer Stellung in der Stufenfolge der Entwickelung wiederbelebten. Am widerstandsfähigsten gegen Kälte zeigten sich die allerniedrigsten Wesen, die Bakterien, ja es scheint, daß diese durch Kälte überhaupt nicht zu zerstören sind; aber auch sie stellen bei gewissen Kältegraden ihre Lebenstätigkeit zeitweilig ein. Dagegen scheinen Keime ihre Lebensfähigkeit nicht zu verlieren, welchen Kältegraden man sie auch beliebig lange Zeit unterwerfen mag, wenn man nur Sorge dafür trägt, daß etwa in ihnen enthaltene Feuchtigkeit vorher entfernt wird, da die Ausdehnung beim Gefrieren die Zellwände zersprengt.

Der gleiche Grund setzt der Lebensfähigkeit eine obere Temperaturgrenze, bei der die Wärmeschwingungen zu groß werden, als daß sie sich innerhalb der Zellen noch abspielen könnten, ohne diese zu zersprengen. Diese Bedingung läßt der oberen Grenze einen weiten Spielraum, der einerseits von den Stoffen, aus denen die betreffenden Lebewesen gebaut sind, anderseits von der Größe ihrer Zellen abhängig ist. In einem bestimmten Komplex von Weltkörpern, wie unserem Sonnensystem, sind wegen der Gleichartigkeit der an dem Aufbau beteiligten Materie und der natürlichen Größengrenze, der die etwaigen Lebewesen z. B. auf den Planeten unterworfen sein müssen, gewiß auch die Temperaturgrade nach obenhin nicht sehr verschieden, innerhalb deren das Leben noch möglich ist. Da z. B. in unserem Sonnensystem das Wasser in irgendeinem Zustande nirgends fehlt, und wir uns die Entwickelung organischen Lebens ohne die Mitwirkung von Wasser nicht denken können, so muß die äußerste Grenze der Lebensfähigkeit für solche Organismen überall bei der Temperatur liegen, bei der das Wasser in Dampfform übergeht, denn in diesem Augenblicke weichen die Moleküle mit unwiderstehlicher Gewalt auseinander und zerreißen jedes Zellgewebe. Für den atmosphärischen Druck auf unserer Erde findet dies bei 100 Zentigraden statt, unter anderen Druckverhältnissen dagegen verschiebt sich diese Grenze. So wird z. B. auf Mars aller Wahrscheinlichkeit nach das Wasser schon bei etwa 50 Grad sieden. Unter dem ungeheuern Drucke dagegen, den die hohe Atmosphäre Jupiters erzeugt, wird der Siedepunkt erst bei sehr viel höheren Temperaturen erreicht. Da die Atmosphären der Himmelskörper bis zu einem gewissen Grade im Verhältnis zu ihrer Größe stehen müssen, so folgt hieraus, daß die Grenzen der Lebensfähigkeit für größere Körper immer weitere werden, daß also der Mannigfaltigkeit der Lebensentfaltung auf größeren Körpern ein entsprechend größerer Spielraum gewährt ist. Da nun der Größe der Himmelskörper ihrerseits keinerlei Grenze gesetzt ist und selbst unserer Erkenntnis zufolge ungeheuer viel größere Welten als die, welche wir bewohnen, existieren, so müssen wir selbst unter der in keiner Weise zu kontrollierenden Bedingung, daß das Leben überall von den Verbindungen der Organogene (Wasserstoff, Sauerstoff, Stickstoff, Kohlenstoff) wie bei uns abhängt, annehmen, daß die



Entfaltung der organischen Welt in anderen Regionen des Universums eine unvorstellbar mannigfaltigere, vollkommenere, schönere sein kann und sein muß, als wir sie kennen.

Indem wir hier von der Entwickelung des Lebens sprachen, sind wir absichtlich über die Frage hinweggesprungen, wie die Entstehung des ersten Lebens auf den Weltkörpern zu denken sei; denn diese Frage schließt unseres Erachtens wieder etwas Absolutes ein, das wir niemals vollkommen zu ergründen vermögen. Von zwei Dingen ist offenbar nur eins möglich: entweder ist das Leben nichts weiter als eine kompliziertere gesetzmäßige Erscheinung der sogenannten toten Natur, ein Kristallisationsprozeß; dann muß es überall entstehen können, wo die physischen Bedingungen, insbesondere die nötigen Temperaturen, dazu vorhanden sind. Die Frage der Entstehung bietet dann prinzipiell keine Schwierigkeiten. Oder das Leben ist etwas Besonderes, die Funktion einer eigenen Materieart; dann gibt es in unserer Voraussetzung tote und lebendige Atome; die toten können nur die Weltkörper bilden, wie wir sie entstehen sahen, die lebendigen nur organische Wesen, die empfinden und denken. In diesem Falle gibt es gar keine Entstehung, das Leben wäre vielmehr so lange vorhanden gewesen, wie es Materie überhaupt gibt, die an sich doch nicht geschaffen wurde, sondern nur durch ihre beständige Umlagerung immer wieder neue Welten schafft. Wir können uns dann denken, daß Lebenskeime, die an sich durch die Kälte des Weltraumes oder durch die Zeit nicht zerstört werden können, durch das Weltall schwärmen und in die Atmosphäre eines Weltkörpers gelangen, auf dem die Bedingungen vorhanden sind, das Leben zu tragen. Nehmen wir die Prinzipien Darwins an, so genügt dieser einzelne Keim eines allerniedrigsten Lebewesens, um allmählich die ganze Welt des Lebens zu entfalten, soweit der betreffende Himmelskörper dazu fähig ist. In beiden Fällen bietet die Frage der Entstehung des Lebens auf einem besonderen Himmelskörper keine grundsätzlichen Schwierigkeiten.

Nach dem Bisherigen ist es klar, daß das Leben jeden einzelnen Himmelskörper nur vorübergehend bevölkern kann, da es an bestimmte Schwingungsgrößen der Moleküle, gewisse Temperaturen gebunden ist, die in der Entwickelungsgeschichte der Weltkörper nur eine bestimmte Zeitspanne ausfüllen. Solange die Weltkörper sich noch in gasförmigem oder glühend-flüssigem Zustande befinden, ist das Leben auf ihnen für uns undenkbar; unsere Sonne also und alle die Millionen anderer Sonnen, von denen der Himmel übersät ist, können das Leben auf ihren Körpern noch nicht bergen, und selbst in unserem Sonnensystem gibt es noch Planeten, wie namentlich Jupiter und Saturn, auf denen der Verdichtungsprozeß aller Wahrscheinlichkeit nach gleichfalls noch nicht genügend weit vorgeschritten ist, um jener hohen Bestimmung dienen zu können. Die größeren Körper, in denen eine größere Anzahl von Molekülen in die für die Entstehung des Lebens nötigen engen Oszillationsgrenzen gezwungen werden muß, brauchen eine längere Zeit, um sich vorzubereiten; ihr ganzer Entwickelungsgang ist ausgedehnter, sie sind langlebiger. Jupiter ist allem Anscheine nach heute noch in einem Stadium, das für die Erde schon Millionen von Jahren zurückliegt, als die ungeschichteten Urgesteine den ersten Panzer um ihren Leib legten. Für seine Monde ist Jupiter dagegen eine zweite, nähere Sonne von ungeheuern Dimensionen, die wohl wenig Licht, aber noch eine große Wärmemenge auf sie strahlen muß, um das Leben, das sonst wohl ebenso wie auf unserem Trabanten längst ausgestorben sein würde, dort vielleicht noch auf der einen Hälfte, die dem Planeten beständig zugewandt bleibt, in schönster Entfaltung zu erhalten. Wir haben dies in unserer idealen Landschaftsdarstellung bei S. 550 zu versinnlichen versucht. Das Bild wird uns dazu verhelfen, uns

in eine Welt hinein zu denken, die sonst der unsrigen ähnlich aufgebaut ist, deren Himmel jedoch eine Planetenkugel schmückt, deren scheinbare Scheibe im Durchmesser etwa 40mal größer ist, als uns die Sonne erscheint, während diese selbst dort fünfmal kleiner ist. Jupiter erscheint also für jeden seiner Trabanten als der Hauptkörper des ganzen Himmels, der im übrigen ebenso wie die Erde für den Mond, von demselben Oberflächenpunkte jedes Satelliten gesehen, seine Lage zum Horizonte wenig oder gar nicht verändern kann, falls unsere Vermutung zutrifft, daß seine sekundären Körper ihm beständig dieselbe Seite zukehren. Der mächtige Planet wechselt seine Phasen periodisch mit dem synodischen Umlauf des betreffenden Satelliten und wird dadurch wegen der schnellen Bewegung der letzteren zu einer ungeheuern Uhr, von der man die Tageszeiten auf das genaueste abzulesen vermag. Fast täglich verschwindet die Sonne einmal hinter der Riesenscheibe des Planeten und gewährt dadurch den Anblick einer Sonnenfinsternis; oder einer der übrigen Monde, die, zugleich in den verschiedensten Phasen stehend, den Himmel durchziehen, wird von dem gestreckten Schattenkegel des Planeten getroffen. Bedeutend reizvoller und vielseitiger würde sich uns der Anblick des Himmels gestalten, wenn wir uns in Wirklichkeit auf eine dieser sekundären Welten versetzen könnten, deren astronomische Verhältnisse, soweit sie die Lage und Bewegung aller uns bekannten Himmelskörper für einen Standpunkt auf irgendeinem anderen permanenten Körper unseres Systems betrifft, wir mit beinahe derselben Genauigkeit für jeden beliebigen Augenblick angeben können, wie für den Horizont eines irdischen Beobachtungsortes.

Jupiter können wir als eine alternde Sonne bezeichnen. Er strahlt heute noch Spuren eigenen Lichtes und für seine nähere Umgebung jedenfalls auch bedeutende Wärme aus. Es kann, nach dem Zeitmaß gemessen, das in der Entwickelungsgeschichte der Weltkörper Anwendung findet, nur geringe Zeit verflossen sein, seit Jupiter noch einen wirklichen Doppelstern mit der Sonne bildete, der, von den Planeten benachbarter Sonnen gesehen, sich von den Doppelsternen mit kurzer Umlaufszeit und sehr ungleichen Komponenten, wie sie sonst im Himmelsraume vorkommen, in keiner Weise unterschied. Vielleicht besitzt der Planet auch gegenwärtig erst eine dünne Kruste über dem glühend-flüssigen Inneren, die durch den Aufsturz kleinerer Körper oder durch innere Revolutionen gelegentlich über weite Strecken hin aufbersten kann und dann Erscheinungen hervorbringt wie den roten Fleck, der auf S. 161 u. f. näher beschrieben wurde. Wenn einst sein nächster, sogenannter fünfter Mond, der ihm schon bedenklich nahegerückt ist, vorher in einen Ring kleiner Körper aufgelöst, schließlich doch als solcher auf ihn stürzt, dann wird Jupiter noch einmal auf kurze Zeit eine zweite Sonne unseres Systems werden, und fernstehende Beobachter, die wegen ihrer zu großen Entfernung von uns nicht mehr imstande sind, Sonne und Jupiter voneinander zu trennen, werden diese plötzlich heller aufleuchten sehen als variablen Stern ohne Periode. Aber die in diesem Stadium noch wohltätige Arbeit der Erkaltung wird die in Aufruhr gekommenen Moleküle bald wieder mehr und mehr beruhigen und ihre Bahnen so weit fesseln, daß eine dauernde Erstarrung der Rinde eintritt; die heute undurchsichtige Atmosphäre wird sich klären und das Sonnenlicht schließlich die Keime des Lebens auch dort wecken und gedeihen lassen. Jupiter wird dann eine andere, größere und deshalb vielseitiger schöne Welt werden, als es die unsrige ist.

Aber der Prozeß der Erkaltung, der Fesselung der Atombewegungen, schreitet inzwischen unaufhaltsam fort. In seinen Bereich gehören auch alle jene chemischen

Vorgänge, welche Flüssigkeiten in feste, Gase in flüssige Verbindungen zwingen. Der Luft- und Wassermantel der Planeten muß sich beständig verkleinern. Nach allem, was die neueste Forschung darüber ermittelt hat, scheint Mars eine Welt zu sein, auf der dieser Prozeß schon sehr vorgeschritten ist; die Atmosphäre ist dort jedenfalls niedrig und dünn, sie enthält wenig Wasserdampf, wenig Wolken. Was man ehedem für die Meere des Mars ansprach, sind höchstwahrscheinlich nur Niederungen, die während der Schneeschmelze überschwemmt werden und allein dadurch das Leben zu beherbergen vermögen, während die großen Landmassen ewig unverändert als sterile Wüstengebiete erscheinen, die nur von dem wunderbaren System der sogenannten Kanäle durchzogen sind. Diese aber sind möglicherweise durch die Kunst intelligenter Wesen geschaffene breite Furchen in diesen Wüsten, welche die Verbindung zwischen den belebten Niederungen herstellen.

Wenn die Absorption von Luft und Wasser auch auf der Erde fortschreitet, wie es in der Tat nicht anders sein kann, so muß unser Planet einstmals ein ganz ähnliches Aussehen gewinnen, wie es nach der oben (S. 122 u. f.) vorgetragenen Ansicht heute Mars darbietet. Das Innere aller größeren Kontinentalmassen der Erde zeigt gegenwärtig schon einen Charakter, der dem der gelben Landflächen des Mars sich zu nähern beginnt. Das Innere von Afrika ist großenteils eine unfruchtbare gelbe Sandwüste, die aus der Ferne den Marskontinenten durchaus gleichen muß; das Hochplateau des nordamerikanischen Festlandes sowie das Innere von Asien und Australien sind von ausgedehnten, im Hochsommer völlig dürren Präriegebieten überdeckt, von denen in Amerika durch die fast geradlinig das Land von Meer zu Meer durchziehenden Pacificbahnen ein Landgürtel zu beiden Seiten der Bahnen von der eisernen Energie des Menschengeschlechtes urbar gemacht zu werden beginnt. Schreitet diese zivilisatorische Tätigkeit in der begonnenen Weise fort, so werden diese bewässerten, mit Feld und Nutzwaldungen bedeckten Seitengebiete der großen Verkehrswege, aus Weltkörperentfernung gesehen, sich einstmals ebenso von den kahlen Präriegebieten abheben wie gegenwärtig die sogenannten Kanäle des Mars von ihrer Umgebung. Das allmähliche Austrocknen der Kontinente wird unaufhaltsam fortschreiten, aber die Ufer der Meere werden dafür zurücktreten und dem Leben neue Landgebiete, vom fruchtbaren Meeresschlamm trefflich vorbereitet, zur Verfügung stellen. Die Erosion wird die Gebirge mehr und mehr abtragen und durch die Flüsse in die Tiefen der Meere versenken; diese werden, wenn nicht anderweitige geologische Einflüsse die Uferlinien verschieben, seichter und seichter, und weite Areale derselben, wie die Ostsee und das Mittelländische Meer, werden zu Niederungen werden müssen, die nur zur Frühjahrszeit, wenn die Flüsse anschwellen, teilweise überschwemmt werden, so wie es in ähnlichen Gebieten auf dem Mars zu geschehen scheint. Hier wird die größte Fruchtbarkeit herrschen, und das Leben wird, von den immer karger bestellten Kontinenten flüchtend, sich hier ansiedeln. Um das dauernd spärlicher werdende Lebenselement des Wassers regelmäßig zu empfangen, wird man die Flüsse regulieren, indem man die inzwischen flacher gewordenen Wasserscheiden zwischen verschiedenen Flußgebieten durchschneidet, um z. B. zwischen der ehemaligen Ostsee und dem Mittelländischen Meere eine dauernde Verbindung zu erhalten. Die immer mehr geradlinig gestalteten ehemaligen Flußläufe werden zu Kanälen in dem Sinne der Marskanäle, wenn man sie mit Ansiedelungen zu beiden Seiten besetzt. So wird schließlich die Erde dem Mars ähnlich werden, der als kleinerer Körper schneller seine Bestimmung erfüllen mußte.

Ist es aber wirklich so, wie wir es hier hypothetisch entwickelten, und sind in der Tat

dem Leben auf Mars so enge Schranken gesetzt, dann wird es doch noch einmal eine Auferstehung des Lebens dort geben: nach einer fürchterlichen Weltkatastrophe, die der einstmalige Aufsturz des nächsten, vorher in einen Hagel von Meteoriten aufgelösten Mondes hervorbringt, der heute von der Oberfläche des Mars nur so weit entfernt ist, wie die Entfernung von Berlin bis New York beträgt. Eine ungeheure Wärmemenge wird dieser Sturz erzeugen; ein großer Teil der Oberfläche wird vielleicht in glühenden Fluß geraten, die chemischen Verbindungen, die Wasser und Luft im Gestein festhielten, werden wieder gelöst, eine weite Atmosphäre, ausgedehnte Meere werden sich bilden. Das Leben kann seinen Kreislauf aufs neue beginnen. Noch einmal kann es aussterben und auferstehen, wenn der zweite, letzte, Mond sich mit dem Planeten vereint; dann allerdings scheint dem Mars sein letztes Ziel unwiderruflich gesetzt.

Begeben wir uns im Geiste auf diese nachbarliche Planetenwelt, wie sie heute ist, so sehen wir, wie die geringe Entfernung der beiden Marsmonde von ihrem gemeinsamen Bewegungszentrum eine Reihe von seltsamen Erscheinungen bedingt, deren Verfolgung nicht ohne Interesse ist. Der innere Satellit Phobos beschreibt, wie wir schon früher erfuhren, in der überaus kurzen Zeit von 7 Stunden 40 Minuten einen vollen Umlauf um den Planeten, und zwar in der gleichen Richtung, in der sich dieser während der Dauer von 24,6 Stunden um seine Achse dreht. Der Trabant überholt also augenscheinlich infolge seiner schnellen Bewegung den Planeten bei seiner Rotation und nimmt demgemäß nicht nur nicht an dem durch die Achsendrehung bewirkten scheinbaren Umschwung des Himmelsgewölbes teil, sondern er geht, der allgemeinen Regel zuwider, zweimal im Zeitraum eines Marstages im *Westen* auf und im *Osten* unter, wobei er auch alle Phasen des Mondwechsels zweimal durchläuft. Ähnliches findet sich im ganzen Bereiche des Sonnensystems nicht wieder verwirklicht.

Ganz anders verhält sich der äußere Trabant Deimos, der seinen Umlauf in wenig mehr als 30 Stunden vollendet. So kommt es, daß er, nur unbedeutend hinter der Umschwungsbewegung seines Hauptkörpers zurückbleibend, längere Zeit in fast unveränderter Richtung zum Horizonte eines Punktes der Marskugel verharrt und mehrere Tage hintereinander, ohne unterzugehen, fortwährend am Himmel sichtbar bleibt, obwohl er an sich dessen scheinbarer Drehung, wenn auch mit starker Verzögerung, folgt. Regelmäßig verändert sich dabei seine Beleuchtung, so daß er innerhalb eines Marstages beinahe sämtliche Phasen vom Neumond durch erstes Viertel, Vollmond und letztes Viertel wieder zum Neumond zurück durchmacht. Das gleiche Wechselspiel zeigt übrigens der innerste Trabant des Jupiter am Himmel dieser Welt.

Zu unserer Gedankenreihe über die Entwickelungsgeschichte der Glieder des Sonnensystems zurückkehrend, wenden wir uns nunmehr der Sonne selbst zu. Auch sie wird inzwischen mehr und mehr erkalten. Aus ihrer ehemaligen Weißglut, wie sie heute noch die *Siriussterne* vom ersten Spektraltypus besitzen (s. S. 329 u. f.), ist sie zu einem *gelben Stern* vom zweiten Typus geworden; ihre elfjährige Sonnenfleckenperiode beginnt sie zu einem *veränderlichen Stern* zu machen. Nimmt die Sonnenfleckenbildung weiter zu, und entwickeln sich schließlich Schlackenfelder von nahezu konstanter Lage auf ihrer Oberfläche, so werden die Helligkeitsschwankungen nicht mehr eine elfjährige Periode haben, sondern mit der Rotationsdauer der Sonne übereinstimmen; sie rückt in eine andere Klasse der Veränderlichen. Ihr Licht wird sich mehr und mehr röten, wie es für die Veränderlichen dieser Art typisch ist; sie wird sich der dritten Spektralklasse einreihen und schließlich

ganz erlöschen und mit ihr das Leben in ihrem weiten Reiche. Inzwischen sind ihr die Planeten näher und näher gerückt und saugen dadurch soviel als möglich von ihrer ersterbenden Kraft noch ein. Nachdem Merkur endlich sich ihr bis zu der Grenze genähert haben wird, von der ab er sich bei größerer Annäherung in einen Ring kleiner Bruchstücke auflösen muß, beginnt er, erst langsam, in der Art des gegenwärtigen Schleierringes des Saturn, seine Materie wieder mit der Sonne zu vereinigen. Dieser Ring wird sich durch besondere Störungen in eine Spirale verwandeln. Derselbe Prozeß, der im aufsteigenden Zweige des Entwickelungsganges stattfand, wird nun in umgekehrter Reihenfolge durchlaufen, und schließlich werden Arme jener Spirale, zunächst den Sonnenkörper in enger Bahn umkreisend, in ihn stürzen: ein Vorgang, der dieselben Erscheinungen hervorbringen muß, wie sie der neue Stern im Perseus zeigte. Die Sonne leuchtet plötzlich wieder stärker auf; es kann noch einmal ein Kreislauf der Entwickelung für die Überlebenden beginnen, und so fort, bis alle Planeten mit ihrem Zentralgestirn vereinigt sind. Ist darauf die Sonne wieder erkaltet, so braucht auch jetzt noch nicht hier das Ende alles Lebens zu sein, denn wenn sich unser Zentralgestirn zu den übrigen Sonnen des Milchstraßensystems ähnlich verhält wie die einzelnen Teile eines planetenbildenden Ringes zueinander, so werden auch Sonnen sich miteinander vereinigen, um aus den Spiralwindungen der Milchstraße Planeten höherer Ordnung zu bilden und ihre Materie einer Lebensentwickelung von einer von uns ungeahnten Großartigkeit darzubieten. Lange vor dieser Vereinigung mag unsere erkaltete Sonne einer anderen noch leuchtenden, die ihren Kreis in ähnlicher Entfernung vom Zentrum des großen Systems beschreibt, nahegekommen sein, und der Einfluß des Nachbargestirnes das Leben auch auf ihrem ungeheuern Körper erweckt und lange unterhalten haben, während sie die jüngere Gefährtin als Satellit umkreist. Solche Vereinigung zweier Sonnen zu einem gemeinsamen System durch die hemmenden Einwirkungen, die zu der Gravitationswirkung hinzukommen, um am Aufbau wie am Zerfall der Weltkörper nach unserer Ansicht teilzunehmen, kann auch zu einer Zeit geschehen, wo beide noch leuchtend sind. So mögen dann jene Doppelsterne entstanden sein, die einander in sehr exzentrischen Bahnen umkreisen, während bei normaler Bildung eines Sonnensystems die später zu einem Planeten werdende zweite Sonne, wie im Falle des Jupiter, so exzentrische Bahnen nicht mehr beschreiben kann.

Daß große dunkle Massen von der Ausdehnung eines Sonnenkörpers verhältnismäßig sehr oft in der Nähe leuchtender Sonnen auftreten, zeigt das relativ häufige Vorkommen der veränderlichen Sterne vom Algoltypus (s. S. 392 u. f.). Die ungeheuern Flutwirkungen, die bei solchen Sternen auftreten müssen, nähern sie beständig einander, indem zunächst der noch flüssige Körper eine gegen den anderen hin langgestreckte ellipsoidische Form annimmt, die sich immer mehr verlängert und je nach dem Übergewicht des anderen Körpers wieder zu einem ringartigen Gebilde umgewandelt werden kann, wie wir es schon mehrfach anführten, und dem alsdann noch eine etwas längere Existenz gegönnt ist. Wir beobachten auch in unserem Sonnensysteme etwas Ähnliches an gewissen Kometen, die sich zu Sternschnuppenringen auflösen (s. S. 260).

Verhältnismäßig häufig wird es vorkommen müssen, daß kleinere Körper von großen aufgefangen werden; wir genießen dann, wie erwähnt, die Erscheinung eines neuen Sternes, der bald wieder erlischt. In dem ganzen Bereiche des Weltgebäudes, soweit wir es übersehen, mit seinen vielen Millionen von Sonnen tritt aber dieser Fall im Laufe eines

Jahrzehntes nur wenige Male auf. Der Zusammenstoß von eigentlichen Sonnenmassen wird also im Milchstraßensystem vielleicht innerhalb einer langen Reihe von Jahrtausenden nur einmal sich ereignen; immerhin liegt es in dem hier dargestellten Entwickelungsgange begründet, daß einstmals ein neuer Stern plötzlich aufleuchten und dann dauernd dem gestirnten Himmel angehören kann. Soviel wir wissen, ist dieser Fall in historischen Zeiten niemals beobachtet worden; wir wollen aber dabei bedenken, daß einigermaßen vertrauenswürdige Karten der mit bloßem Auge sichtbaren Sterne erst seit wenigen Jahrhunderten existieren. Die ganz junge Wissenschaft der Photometrie wird einmal darüber Rechenschaft geben können, ob nicht einige Sterne eine andauernde Lichtabnahme zeigen, die sich erst nach jahrzehntelangen genauen Messungen feststellen läßt. Solche Sterne würden dadurch eine Verwandtschaft mit den neuen Sternen verraten, indem man von ihnen annehmen dürfte, daß sie einstmals plötzlich aufleuchteten, während die Periode ihres Wiedererlöschens sich vielleicht nach Jahrhunderten bemißt, statt nach Monaten, wie bei jenen. Es ist kaum zweifelhaft, daß Untersuchungen in diesem Sinne eine Anzahl von Sternen, die wir für permanente halten, als vorübergehende Erscheinungen kennzeichnen werden, sofern sie in kommenden Jahrhunderten oder Jahrtausenden aus den Konstellationen verschwunden sein werden, denen sie heute noch angehören, während an anderen Stellen neue Gestirne ihrerseits das Bild der Himmelsdecke verändern. Jedenfalls mußte die uralte Überzeugung von der Unveränderlichkeit des Firmamentes längst einer besseren Erkenntnis weichen. Beschleunigen wir in Gedanken die Zeit, so daß Jahrtausende zu Sekunden zusammenschmelzen, so würden wir die ewigen Gestirne wie Sternschnuppen durch die Räume des Universums dahineilen und Sonnen wie die herbstlichen Blätter von den Bäumen herabfallen sehen. Aber an ihrer Stelle würden andere aufblühen und emporstreben, das Universum immer wieder neu zu bevölkern.

Allein diese Kreisläufe des Geschehens im Bereiche der Sonnenschwärme, dieses Auf- und Niederwogen zwischen Weltentstehung und Weltuntergang wird, wenn der neue Anstoß durch den wirklichen Aufsturz einer anderen Masse geschieht, in ihrer Aufeinanderfolge nicht die gleiche Ausdehnung haben. Wenn ein Sonnensystem seine gesamte Masse in sich vereinigt hat und seine Materie gänzlich erkaltet ist, kann es nur zu neuer Lebenstätigkeit angefacht werden, wenn es mit einer anderen größeren Masse zusammentrifft. Es kann dann unter Umständen der Zusammenstoß so heftig werden, daß die gesamte Materie beider Massen wieder in Gasform übergeht, so daß der ganze bisher geschilderte Entwicklungsgang von neuem beginnen kann. Aber die Anzahl von Atomen, die sich nunmehr daran beteiligt, ist größer als beim letzten Kreislauf; sie sind imstande, nicht nur eine ausgedehntere, sondern wegen der Mehrzahl der möglichen Kombinationen eine auch im einzelnen vollkommenere Welt zu schaffen. Der Verdichtungsprozeß, den wir überall in den Weltsystemen kleinerer Ordnung sich abspielen sehen, muß also immer größere Ausdehnung annehmen und immer umfassendere Weltkomplexe vereinigen. Die Ordnung des Ganzen muß immer vollkommener und einheitlicher werden.

Dieses beständige *Aufstreben der Kreisläufe* bemerken wir im Bereiche der Natur überall, auch im kleinsten Umfang einer bestimmten, rhythmisch geordneten Wirkungssphäre. Der oberflächlichen Anschauung mag wohl ein Tag dem anderen, ein Sommer allen seinen Vorgängern gleichen; in Wirklichkeit aber zieht jeder neue Tag von dem vorangegangenen Nutzen. Im Frühling sieht jedes Kind, wie die wiedererwachende Natur mit

jedem Tage, der die Sonne höher steigen läßt, sich schöner und schöner gestaltet. Mag dann auch später der Herbstwind die Blüten, den Blätterschmuck und die in der Sommerglut gereiften Früchte wieder herabreißen zur Erde, aus der sie erstanden, so vermehren sie doch den fruchtbaren Boden, aus dem im nächsten Jahre der höher aufsprießende Baum die vermehrte Kraft zu saugen vermag, deren er nun benötigt. Elemente des Erdreiches, die bisher noch nicht zum Aufbau höher organisierter Lebewesen verwendet worden waren, sind inzwischen zu Molekülen feinerer Gliederung umgearbeitet worden, wie sie nur die organische Chemie kennt. Je häufiger diese Bausteine wieder verwendet werden, um so besser passen sie sich der ihnen gestellten Aufgabe an, desto vollkommenere Geschöpfe können sie also bilden helfen. Auf dem granitenen Urgestein, das die ersten Inseln in dem einst die ganze Erde umschließenden Urmeere bildete, hätte das Samenkorn einer höheren Pflanze, z. B. eines Laubbaumes, nicht aufkommen können, selbst wenn im übrigen die Bedingungen dazu vorhanden gewesen wären. Auch heute findet man auf solchem Gestein nur primitives Moosgeflecht, oder es klammern sich höchstens die bedürfnislosen Koniferen an ihm fest, die erste Baumart, welche die Landschaften der Urzeit beherrschte. Wandert man heute durch ein Mittelgebirge, bei dem die Höhendifferenzen die Verteilung des Baumwuchses noch nicht bedingen, so wird man vielfach die bedeutungsvolle Wahrnehmung machen, daß sich auch gegenwärtig noch die Pflanzenfamilien im großen und ganzen derart zusammenfinden, daß die älteren sich auf geologisch älterem Boden ansiedeln; jedenfalls bedürfen die Laubgewächse unter allen Umständen einer bedeutenden Humusschicht, die ihnen meist nur die weitere Verarbeitung der Sedimentgesteine bieten kann.

Auch die Tatsachen der geologischen Forschung bestätigen, daß eine fortschreitende Entwickelung des Organischen stattgefunden haben muß, die nach und nach das ganze Erdenrund eroberte, wenngleich durch wiederholt auftretende Eiszeiten auch hier ein Jahreskreislauf von ungeheurer und unbekannter Ausdehnung ein Auf- und Niederschwanken erzeugte. Daß die organische Stufenleiter in diesem Sinne weiter aufstrebte, indem sie sich immer feinerer molekularer Gruppierungen zur Schöpfung und Unterhaltung ihrer höheren Organismen bediente, erweist sich schon aus dem Umstande, daß gegenwärtig die Tiere nicht mehr imstande sind, anorganische Stoffe zu assimilieren und für den Aufbau ihres Körpers zu verwerten, sondern zu ihrer Ernährung völlig auf die organischen Verbindungen angewiesen sind, welche die Pflanzen aus den Elementen des Erdreichs ihnen vorbereiten.

Selbst in den höchsten Äußerungen der Lebenstätigkeit, der im Menschen verkörperten Intelligenz, offenbart sich dieses ewige Kreisen in beständig höher aufstrebenden Spiralen. Das einzelne Individuum muß zwar dem alles vernichtenden Tode unrettbar zum Opfer fallen, und doch ist er es allein, der Raum zu neuer, höher aufstrebender Lebensentfaltung zu schaffen vermag. Die Söhne bereichern sich an dem beständig größer werdenden Kapital an Wissen und Erfahrung, das ihnen ihre Väter hinterlassen; und was von ihren Taten für kommende Geschlechter wertvoll ist, lebt auch nach ihrem Tode fort und erweitert und verschönt die Welt der Intelligenz, die neben der Welt der Materie auf unserem Erdenrund erst jetzt aufgeblüht ist. Ganz ebenso wie die von den Organismen verarbeitete Materie allein die Entwickelung vollkommenerer Individuen möglich macht, erleichtert auch der Schatz an verarbeiteten Gedanken das Emporstreben der Intelligenz zu einer höheren Vollkommenheit. Die Summe allgemeiner Bildung, in der das geistige Individuum

wurzelt, ist mit jener Schicht von fruchtbarem Humus zu vergleichen, der durch die Zeitalter der Erdgeschichte sich beständig weiter ausbreitet.

Innerhalb einer Einzelwelt zwar, wie dieser Erde, wird der Entwickelung sowohl des Geistes als der Materie eine Schranke gesetzt sein, bei der die absteigende Bahn beginnt; und soweit wir heute die Dinge überblicken können, wird einstmals jede Spur geistigen Lebens hier wie auf allen anderen Weltkörpern ausgelöscht werden müssen, so daß die nächstfolgende Welt, die an die Stelle der unsrigen gesetzt werden wird, nichts übernimmt von den Großtaten der Geistesheroen, von denen die Jahrtausende erfüllt sein werden. Es haben die Philosophen viel über den Zweck des Bewußtseins nachgedacht. Wir können hier diese Gedanken nicht wiederholen; aber es will uns scheinen, daß jede Weltorganisation, die es zu der Blüte des Bewußtwerdens ihrer selbst, zur entzückten Anschauung ihrer eigenen Schönheit brachte, eine vollauf befriedigende Bestimmung erfüllt hätte, selbst wenn wirklich kein neuer Aufschwung des Weltwerdens von einem gewissen Zeitpunkte ab möglich wäre, was im folgenden bestritten wird.

Da, wie wir vorhin erkannt haben, jede Welt und jedes Weltsystem als Individuum sowohl wie als Teil eines solchen anzusehen ist, so können wir auch Leben und Bewußtsein einer ganzen Welt mit dem einer Einzelzelle in einem größeren Organismus vergleichen, dessen Gesamtbewußtsein durch die Wechselwirkung von Geburt und Tod seiner einzelnen Teile wächst. Gleichwie feiner organisierte Wesen zur Grundlage ihres Lebens der Produkte bedürfen, die aus der Verwesung ihrer Vorfahren hervorgingen, so werden auch desto *höher organisierte Weltsysteme aus dem Zerfall absterbender entstehen*, je weiter entwickelt diese letzteren bereits waren. Dies läßt sich daraus folgern, daß bei dauernd fortschreitender Verdichtung der Weltmaterie immer verwickeltere chemische Verbindungen geschaffen werden. Heute schon wissen wir mit ziemlicher Bestimmtheit, daß die Körper, die wir als chemische Elemente ansprechen, dies in Wirklichkeit nicht sind, sondern nur sehr stetige Verbindungen unbekannter, noch einfacherer Stoffe, die sich in der uns in nächster Nähe umgebenden Weltorganisation bereits niemals mehr trennen. In höher entwickelten Welten werden immer zahlreicher uns bekannte chemische Verbindungen zu scheinbaren Elementen und immer komplizierter auch die Verbindungen werden, die sich aus dieser vermehrten Zahl von Elementen herstellen lassen. In der Sprache unserer atomistischen Anschauung würden wir sagen, daß die primären, kleinsten Weltsysteme der Moleküle stets vollkommener und reicher organisiert werden. An welchem Punkte der Entwickelungskreislauf einer neuentstehenden Welt wieder beginnt, wird also davon abhängen, bis zu welcher Stufe die zerfallene Welt, auf deren „Humus" die neue erblühen soll, bereits vorgeschritten war. Freilich kann ein Zusammenstoß sämtliche Verbindungen aufs neue auseinanderreißen, aber beim Vorhandensein einer bereits durchgearbeiteten Weltmaterie ist die Möglichkeit vorhanden, einige Stufen zu überspringen, und deshalb muß im allgemeinen die Entwickelung diesen fortschreitenden Weg gehen. Es ist auch zu bedenken, daß angesichts der Notwendigkeit der fortschreitenden Vermehrung der Masse, die eine neue Welt zu bilden hat, und der fortgesetzten Stoßwirkung ihrer einzelnen Teile ihre lebendige Kraft mehr und mehr verbraucht werden muß, so daß die Stöße immer weiter verminderte Kraft und die pendelnden Atomausschläge immer geringere Ausdehnung annehmen, folglich die Zerreißung der Moleküle schwerer gelingt, wodurch nach unserer Ansicht die höhere Stufe der Entwickelung, bei der die neue Welt beginnt, gekennzeichnet ist.

So sind wir also zu der Überzeugung gekommen, daß in dem ewigen Kreislaufe zwischen Geburt und Tod, der sich in allen Weltorganisationen von der unfaßbar kleinsten bis zur ebenso unfaßbar großen hinauf, vom Molekül bis zu den hinter dem unsrigen vermuteten Systemen von Milchstraßen, überall ein, wenn auch noch so kleines Plus übrigbleibt, das dem allgemeinen Fortschritt des Ganzen zugute kommt. Mögen wir auch den ganzen Umfang des Weltgebäudes, soweit wir es in unserem endlichen Geiste aufnehmen können, durch unerbittliche Schlüsse der Logik untergehen lassen, so ist dieser ganze Umfang doch immer nur ein kleiner Teil des unendlichen Universums; und wenn dort außerhalb nicht Dinge sind, die den Grundeigenschaften der uns bekannten Materie widersprechen, so daß wir deshalb darüber nicht weiter nachdenken können, so muß auch von dorther der große Zug der Ordnung eine weitere Auslese des Brauchbaren vom Widerstrebenden treffen, und das Streben zur Vollkommenheit durch alle „werdenden" Ewigkeiten seinen Fortgang nehmen.

In neuerer Zeit hat man manche Anzeichen dafür, daß auch ein beständiger Kreislauf zwischen jener „kinetischen Energie", die durch Zusammenstöße allerdings beständig vermindert werden muß, und der „Richtungsenergie" stattfindet, durch welche die Materie wieder in den Raum hinausgestreut werden kann, wie es am augenfälligsten das wunderbare Radium zeigt. Es ist dargetan worden, daß auch das gewöhnliche Licht auf kleinste Teile eine abstoßende Wirkung übt, und also auf einem Lichtstrahl Materie in die fernsten Teile des Weltgebäudes wieder hinausgetragen wird. Endlich haben wir gesehen, wie ein neuer Weltbildungsprozeß auch durch die bloße Annäherung einer wieder vorüberziehenden Sonne eingeleitet werden kann, die die verdichtete Materie einer ausgelebten Welt durch ihre Anziehungskraft allein wieder in einen Spiralnebel aufzulösen imstande ist.

Freilich dürfen wir auch hier nicht die vollendete Unendlichkeit des Geschehens ausdenken wollen. Wenn die Materie eine volle Ewigkeit hindurch sich verdichten müßte, so würde sie sich schließlich zu Weltkörpern von maximaler Dichtigkeit zusammengezogen haben, die keinerlei Bewegung mehr gegeneinander besitzen, weil der Weltraum zwischen ihnen völlig leer ist, sie also auch keine Wirkung gegeneinander ausüben und selbst völlig tot sind. Dann herrschte also im ganzen Universum die ewige Ruhe des Todes, und keine Möglichkeit der Wiederbelebung wäre vorhanden. Daß aber dieser von gewissen Denkern so sehr gefürchtete Zustand der sogenannten Entropie in aller Zukunft niemals eintreten wird, beweist, auch abgesehen von den vorhin gegebenen Einwendungen, auf das unwiderleglichste die lebendige Gegenwart, die man uns glücklicherweise nicht hinwegphilosophieren kann; denn eine „werdende" Ewigkeit der Zeit liegt ebensowohl hinter uns, wie man sie vor uns liegend annimmt. Der Zustand der absoluten Ruhe müßte also auch jetzt schon herrschen; da dies nicht der Fall ist, wird Bewegung und Leben und immer höhere Schönheit und Ordnung sich weiter und weiter ausdehnen von System zu System, von Weltgebäude zu Weltgebäude bis in alle ausdenkbare Zukunft hin.

Register.

A.

B.

C.

D.

E.

I (i).

J (j).

K.

Druck vom Bibliographischen Institut in Leipzig.

	M.	Pf.
Bilder-Atlas zur Zoologie der Fische, Lurche und Kriechtiere, von Prof. Dr. ***W. Marshall.*** Beschreibender Text mit 208 Abbildungen. Gebunden, in Leinwand	2	50
Bilder-Atlas zur Zoologie der Niederen Tiere, von Prof. Dr. ***W. Marshall.*** Beschreib. Text mit 292 Abbildungen. Gebunden, in Leinw.	2	50
Bilder-Atlas zur Pflanzengeographie, von Dr. ***Moritz Kronfeld.*** Beschreibender Text mit 216 Abbildungen. Gebunden, in Leinwand . . .	2	50
Kunstformen der Natur. 100 Tafeln in Ätzung und Farbendruck mit beschreibendem Text von Prof. Dr. ***Ernst Haeckel.*** In zwei eleganten Sammelkasten 37,50 Mk. — In Leinen gebunden	35	—

Geographische und Kartenwerke.

	M.	Pf.
Allgemeine Länderkunde. ***Kleine Ausgabe,*** *von Prof. Dr.* ***Wilh. Sievers.*** Mit 62 Textkarten und Profilen, 33 Kartenbeilagen, 30 Tafeln in Holzschnitt, Ätzung und Farbendruck und 1 Tabelle. Geheftet, in 17 Lieferungen zu je 1 Mk. — Gebunden, in 2 Leinenbänden . . . . . . je	10	—
Die Erde und das Leben. Eine vergleichende Erdkunde. Von Prof. Dr. ***Friedrich Ratzel.*** Mit 487 Abbildungen im Text, 21 Kartenbeilagen und 46 Tafeln in Holzschnitt, Ätzung und Farbendruck. Geheftet, in 30 Lieferungen zu je 1 Mk. — Gebunden, in 2 Halblederbänden . . . . . je	17	—
Afrika. Zweite, von Prof. Dr. ***Friedr. Hahn*** umgearbeitete Auflage. Mit 173 Abbildungen im Text, 11 Karten und 21 Tafeln in Holzschnitt, Ätzung und Farbendruck. Geheftet, in 15 Lieferungen zu je 1 Mk. — Gebunden, in Halbleder .	17	—
Australien, Ozeanien und Polarländer, von Prof. Dr. ***Wilh. Sievers*** und Prof. Dr. ***W. Kükenthal.*** Zweite, neubearbeitete Auflage. Mit 198 Abbildungen im Text, 14 Karten und 24 Tafeln in Holzschnitt, Ätzung und Farbendruck. Geheftet, in 15 Lieferungen zu je 1 Mk. — Gebunden, in Halbleder	17	—
Süd- und Mittelamerika, von Prof. Dr. ***Wilh. Sievers.*** *Zweite, neubearbeitete Auflage.* Mit 144 Abbildungen im Text, 11 Karten und 20 Tafeln in Holzschnitt, Ätzung und Farbendruck. Geheftet, in 14 Lieferungen zu je 1 Mk. — Gebunden, in Halbleder	16	—
Nordamerika, von Prof. Dr. ***Emil Deckert.*** *Zweite, neubearbeitete Auflage.* Mit 130 Abbildungen im Text, 12 Karten und 21 Tafeln in Holzschnitt, Ätzung und Farbendruck. Geheftet, in 14 Lieferungen zu je 1 Mk. — Gebunden, in Halbleder	16	—
Asien, von Prof. Dr. ***Wilh. Sievers.*** Zweite, neubearbeitete Auflage. Mit 167 Abbildungen im Text, 16 Karten und 20 Tafeln in Holzschnitt und Farbendruck. Geheftet, in 15 Lieferungen zu je 1 Mk. — Gebunden, in Halbleder	17	—
Europa, von Prof. Dr. ***A. Philippson.*** *Zweite, neubearbeitete Auflage.* Mit 144 Abbildungen im Text, 14 Karten u. 22 Tafeln in Holzschnitt u. Farbendruck. Geheftet, in 15 Lieferungen zu je 1 Mk. — Gebunden, in Halbleder	17	—
Meyers Geographischer Hand-Atlas. *Dritte, neubearbeitete Auflage.* Mit 115 Kartenblättern und 5 Textbeilagen.		
Ausgabe A. Ohne Namenregister. 28 Lieferungen zu je 30 Pf., oder in Leinen gebunden	10	—
Ausgabe B. Mit Namenregister sämtl. Karten. 40 Liefgn. zu je 30 Pf., oder in Halbleder geb.	15	—
Neumanns Orts- und Verkehrslexikon des Deutschen Reichs. *Vierte, neubearbeitete Auflage.* Mit 40 Stadtplänen nebst Straßenverzeichnissen, 1 politischen und 1 Verkehrskarte. — Gebunden, in Halbleder. . .	18	50
Gebunden, in 2 Leinenbänden	19	—
Bilder-Atlas zur Geographie von Europa, von Dr. ***A. Geistbeck.*** Beschreibender Text mit 233 Abbildungen. Gebunden, in Leinwand . . .	2	25



	M.	Pf.
Bilder-Atlas zur Geographie der aussereuropäischen Erdteile, von Dr. ***A. Geistbeck.*** Beschreibender Text mit 314 Abbild. Gebunden, in Leinwand	2	75
Verkehrs- und Reisekarte von Deutschland nebst Spezialdarstellungen des rheinisch-westfälischen Industriegebiets u. des südwestlichen Sachsens sowie zahlreichen Nebenkarten. Von ***P. Krauss.*** Maßstab: 1:1,500,000. In Oktav gefalzt und in Umschlag 1 Mk. — Auf Leinwand gespannt mit Stäben zum Aufhängen	2	25

Welt- und kulturgeschichtliche Werke.

	M.	Pf.
Das Deutsche Volkstum, unter Mitarbeit hervorragender Fachgelehrter herausgegeben von Prof. Dr. ***Hans Meyer.*** *Zweite, neubearbeitete Auflage.* Mit 1 Karte und 43 Tafeln in Holzschnitt, Ätzung und Farbendruck. Geheftet, in 16 Liefgn. zu je 1 Mk. — Geb., in 2 Leinenbänden zu je 9,50 Mk., — in 1 Halblederband	18	—
Weltgeschichte, unter Mitarbeit hervorragender Fachmänner herausgegeben von Dr. ***Hans F. Helmolt.*** Mit 55 Karten und 178 Tafeln in Holzschnitt, Ätzung und Farbendruck. Geheftet, in 18 Halbbänden zu je 4 Mk. — Gebunden, in 9 Halblederbänden . . . . . je	10	—
Urgeschichte der Kultur, von Dr. ***Heinr. Schurtz.*** Mit 434 Abbildungen im Text, 1 Karte u. 23 Tafeln in Holzschnitt, Tonätzung u. Farbendruck. Geheftet, in 15 Lieferungen zu je 1 Mk. — Gebunden, in Halbleder	17	—
Geschichte der deutschen Kultur, von Prof. Dr. ***Georg Steinhausen.*** Mit 205 Abbildungen im Text und 22 Tafeln in Kupferätzung und Farbendruck. Geheftet, in 15 Lieferungen zu je 1 Mk. — Gebunden, in Halbleder	17	—
Natur und Arbeit. Eine allgemeine Wirtschaftskunde. Von Prof. Dr. ***Alwin Oppel.*** Mit 218 Abbildungen im Text, 23 Kartenbeilagen u. 24 Bildertafeln in Holzschnitt, Ätzung u. Farbendruck. 18 Liefgn. zu je 1 Mk. — 2 Bde., in Leinen geb. je	10	—
Gebunden, in 1 Halblederband	20	—

Literar- und kunstgeschichtliche Werke.

	M.	Pf.
Geschichte der antiken Literatur, von ***Jakob Mähly.*** 2 Teile in einem Band. Gebunden, in Leinwand 3,50 Mk. — Gebunden, in Halbleder	5	25
Geschichte der deutschen Literatur, von Prof. Dr. ***Friedr. Vogt*** u. Prof. Dr. ***Max Koch.*** *Zweite, neubearbeitete Auflage.* Mit 165 Abbildungen im Text, 27 Tafeln in Holzschnitt, Kupferstich und Farbendruck, 2 Buchdruck- und 32 Faksimilebeilagen. Geheftet, in 16 Lieferungen zu je 1 Mk. — Gebunden, in 2 Halblederbänden . . . . . je	10	—
Geschichte der englischen Literatur, von Prof. Dr. ***Rich. Wülker.*** Zweite, neubearbeitete und vermehrte Auflage. Mit 229 Abbildungen im Text, 30 Tafeln in Holzschnitt, Kupferstich, Tonätzung und Farbendruck und 15 Faksimilebeilagen. Geheftet, in 16 Lieferungen zu je 1 Mk. — Gebunden, in 2 Halblederbänden . . . . je	10	—
Geschichte der italienischen Literatur, von Prof. Dr. ***B. Wiese*** u. Prof. Dr. ***E. Pèrcopo.*** Mit 158 Abbildungen im Text und 31 Tafeln in Holzschnitt, Kupferätzung und Farbendruck und 8 Faksimilebeilagen. Geheftet, in 14 Lieferungen zu je 1 Mk. — Gebunden, in Halbleder	16	—
Geschichte der französischen Literatur, von Professor Dr. ***Hermann Suchier*** und Prof. Dr. ***Adolf Birch-Hirschfeld.*** Mit 143 Abbildungen im Text, 23 Tafeln in Holzschnitt, Kupferätzung und Farbendruck und 12 Faksimilebeilagen. Geheftet, in 14 Lieferungen zu je 1 Mk. — Gebunden, in Halbleder	16	—
Geschichte der Kunst aller Zeiten und Völker, von Prof. Dr. ***Karl Woermann.*** Mit etwa 1400 Abbildungen im Text und 145 Tafeln in Holzschnitt, Tonätzung und Farbendruck. (Im Erscheinen.) Gebunden, in 3 Halblederbänden . . . . je	17	—

Druck vom Bibliographischen Institut in Leipzig.


Digitized by Google

